

RESPOSTA BIOLÓGICA E DE PREDACÃO DE *Tenuisvalvae notata* (MULSANT)
(COLEOPTERA: COCCINELLIDAE) SOB DIFERENTES TEMPERATURAS E PRESAS E
USO DO CLIMEX PARA PREVER SUA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA

por

LARISSA FREITAS FERREIRA

(Sob Orientação da Professora Christian Sherley Araújo da Silva Torres - UFRPE)

RESUMO

A joaninha *Tenuisvalvae notata* (Mulsant) é nativa da América do Sul e preda preferencialmente cochonilhas Pseudococcidae. Este trabalho determinou as exigências térmicas, desempenho reprodutivo e predação de *T. notata* sobre *Ferrisia dasyrillii* Cockerell e *Planococcus citri* (Risso), bem como a sua potencial distribuição geográfica. Biologia e taxa de predação foram estudadas em laboratório sob diferentes temperaturas (16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 38 °C). O CLIMEX foi usado para estimar o potencial de distribuição de *T. notata*, em comparação a *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant, bem como a fenologia em quatro localidades de Pernambuco: Chã Grande, Surubim, Belo Jardim e Petrolina. As temperaturas de 16, 18 e 38 °C foram inadequadas ao desenvolvimento de *T. notata*, e houve uma redução no período de desenvolvimento de 20 a 32 °C. As temperaturas máxima (T_{max}), mínima (T_b) e ótima (T_{ot}) foram estimadas como sendo 36,5, 14,5 e 31,0 °C, enquanto a constante térmica foi de 520,83 e 529,10 graus-dia quando predando *F. dasyrillii* e *P. citri*, respectivamente. Nas temperaturas elevadas ocorreu diminuição do período de pré-oviposição e sobrevivência das fêmeas, e nas temperaturas de 20 e 32 °C houve diminuição da fecundidade e viabilidade dos ovos. As taxas de predação de *T. notata* sobre *F. dasyrillii* e *P. citri* aumentaram com o aumento da temperatura até 32 °C. Além

disso, *T. notata* e *C. montrouzieri* possuem potencial de estabelecimento em áreas de clima mais quente, como equatorial e tropical. Entretanto, *C. montrouzieri* mostrou-se maior potencial de estabelecimento em maior parte do território brasileiro que, a espécie nativa da América do Sul, *T. notata*. Em relação a fenologia, nenhuma das localidades testadas em Pernambuco ofereceu condições climáticas de estresse, e no geral a precipitação se mostrou um fator importante para flutuação populacional das joaninhas.

PALAVRAS-CHAVE: Coccinelídeo, temperatura, requerimento térmico, fenologia, distribuição global.

BIOLOGICAL AND PREDATORY BEHAVIOR OF *Tenuisvalvae notata* (MULSANT)
(COLEOPTERA: COCCINELLIDAE) UNDER DIFFERENT TEMPERATURES AND PREYS
AND USE OF CLIMEX TO PREDICT ITS GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION

by

LARISSA FREITAS FERREIRA

(Under the Direction of Professor Christian Sherley Araújo da Silva Torres - UFRPE)

ABSTRACT

The lady beetle *Tenuisvalvae notata* (Mulsant) is indigenous to South America and preferentially preys upon Pseudococcidae mealybugs. This study determined the thermal requirements, fitness, and predation of *T. notata* fed *Ferrisia dasyrillii* Cockerell and *Planococcus citri* (Risso), as well as its potential geographic distribution. The biology and predation rate were studied under different temperatures (16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 38 °C) in the laboratory. The CLIMEX was used to estimate the potential distribution of *T. notata* relative to *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant, and its phenology in four locations of Pernambuco: Chã Grande, Surubim, Belo Jardim and Petrolina. The temperatures 16, 18 and 38 °C were inadequate for *T. notata* development, and there was a reduction in the developmental period from 20 to 32 °C. The maximum (T_{max}), minimal (T_h) and optimal (T_{opt}) temperatures were 36.5, 14.5 and 31 °C, whereas the thermal constants were 520.83 and 529.10 day-degrees when fed *F. dasyrillii* and *P. citri*, respectively. Higher temperatures caused a reduction in the pre-oviposition period and survival of females, while the temperatures 20 and 32 °C caused a reduction in fecundity and egg viability. Predation rates of *T. notata* upon *F. dasyrillii* and *P. citri* increased with temperature up to 32 °C. Further, *T. notata* and *C. montrouzieri* are predicted to establish in places of warmer

climate, such as equatorial and tropical areas. Nevertheless, the establishment of *C. montrouzieri* is more favorable in greater part of the Brazilian territory than the South American indigenous species, *T. notata*. In relation to phenology, none of the tested localities in Pernambuco offered climate stress conditions, and overall rainfall was an important factor to the fluctuation of lady beetle populations.

KEY WORDS: Coccinellid, temperature, thermal requirements, phenology, global distribution.

RESPOSTA BIOLÓGICA E DE PREDACÃO DE *Tenuisvalvae notata* (MULSANT)
(COLEOPTERA: COCCINELLIDAE) SOB DIFERENTES TEMPERATURAS E PRESAS E
USO DO CLIMEX PARA PREVER SUA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA

por

LARISSA FREITAS FERREIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Entomologia Agrícola, da
Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de
Mestre em Entomologia Agrícola.

RECIFE - PE

Março – 2019

RESPOSTA BIOLÓGICA E DE PREDACÃO DE *Tenuisvalvae notata* (MULSANT)
(COLEOPTERA: COCCINELLIDAE) SOB DIFERENTES TEMPERATURAS E PRESAS E
USO DO CLIMEX PARA PREVER SUA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA

por

LARISSA FREITAS FERREIRA

Comitê de Orientação:

Christian Sherley Araújo da Silva Torres – UFRPE

Jorge Braz Torres – UFRPE

RESPOSTA BIOLÓGICA E DE PREDACÃO DE *Tenuisvalvae notata* (MULSANT)
(COLEOPTERA: COCCINELLIDAE) SOB DIFERENTES TEMPERATURAS E PRESAS E
USO DO CLIMEX PARA PREVER SUA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA

por

LARISSA FREITAS FERREIRA

Orientador: _____
Christian Sherley Araújo da Silva Torres – UFRPE

Examinadores: _____
Jorge Braz Torres – UFRPE

Agná Rita dos Santos Rodrigues – IF GOIANO

DEDICO

Aos meus pais, Geraldo Neri Ferreira e Eliana Aloísia de Freitas Ferreira, por todo amor e dedicação, além de sempre me apoiar e incentivar os estudos. Ao meu sobrinho Vítor por me trazer alegria e a luz de uma criança. Minha eterna gratidão!

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela proteção, força e sabedoria em momentos difíceis.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e ao Programa de Pós-graduação em Entomologia Agrícola (PPGEA) pela realização do curso, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos meus orientadores professora Christian S.A. Silva Torres e professor Jorge Braz Torres pela orientação, ensinamentos, e pelos exemplos de dedicação e profissionalismo.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Entomologia Agrícola da UFRPE pelos conhecimentos transmitidos.

Aos funcionários do PPGEA pela dedicação nos serviços prestados.

À equipe do laboratório de Toxicologia e aos demais amigos do PPGEA, especialmente a Dayana Sousa pela amizade e momentos de descontração.

Aos amigos do laboratório de Comportamento de Insetos, Cynara Moura, Jennifer Oberger, Rhian Moraes, Natanel Batista, Daniel Passos Assis, Enggel Carmo, Ghéssica, pelas conversas diárias, desabafos, ajuda e companhia durante o curso. Além de fazerem meus dias mais leves e divertidos, em um ambiente descontraído.

Aos amigos e companheiros de infância e graduação, especialmente Mirely Bonin e Milla Filgueiras, pela amizade e por estarem dispostas quando precisei, nunca perdendo o contato e a confiança.

Agradeço especialmente aos meus pais, Geraldo e Eliana, pela preocupação, paciência. Por estarem presentes, mesmo à distância, nos momentos de angústia, por todo o apoio e ajuda sem medirem esforços.

Ao meu irmão, Felipe Neri, que apesar de tudo, sei que estará ao meu lado quando necessário, e pelo presente de um sobrinho/afilhado que transborda alegria em todos nós, proporcionando uma forma de amor inexplicável.

À todos os familiares, que se preocuparam e amenizaram a saudade de casa por mensagens e ligações, em especial a tia Elza, e aos meus primos Luigy e Fernanda.

Agradeço ao meu companheiro Rodrigo Bezerra, por compartilhar parte desse trajetória, sendo ouvinte atento de algumas inquietações, desânimos e sucesso. Por toda paciência, amor e carinho, fazendo minha vida mais feliz e aliviando a saudade de todos que estão distantes.

À todos aqueles que apoiaram-me e que de alguma forma contribuíram para meu crescimento profissional e pessoal durante a realização deste trabalho. Gratidão!

SUMÁRIO

	Página
AGRADECIMENTOS	ix
CAPÍTULOS	
1 INTRODUÇÃO.....	1
Inimigos naturais como agentes do controle biológico.....	1
Coccinelídeos	2
<i>Tenuisvalvae notata</i> (Mulsant).....	4
Requerimento térmico e modelos bioclimáticos de distribuição de espécies	5
Interações entre predadores nativos e exóticos	8
LITERATURA CITADA.....	9
2 RESPOSTA DE <i>Tenuisvalvae notata</i> (MULSANT) (COLEOPTERA: COCCINELLIDAE) A DIFERENTES TEMPERATURAS PREDANDO DUAS ESPÉCIES DE COCHONILHAS.....	16
RESUMO	17
ABSTRACT	18
INTRODUÇÃO	19
MATERIAL E MÉTODOS	21
RESULTADOS.....	26
DISCUSSÃO.....	29
AGRADECIMENTOS.....	35
LITERATURA CITADA.....	35

3	AJUSTE CLIMÁTICO DA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DAS JOANINHAS	
	<i>Tenuisvalvae notata</i> (MULSANT) e <i>Cryptolaemus montrouzieri</i> MULSANT (COLEOPTERA: COCCINELLIDAE)	47
	RESUMO	48
	ABSTRACT	49
	INTRODUÇÃO	50
	MATERIAL E MÉTODOS	52
	RESULTADOS.....	57
	DISCUSSÃO.....	59
	AGRADECIMENTOS.....	63
	LITERATURA CITADA.....	63
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	79

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Inimigos Naturais como Agentes do Controle Biológico

O controle biológico foi definido por De Bach (1968) como a ação de inimigos naturais como parasitoides, predadores e entomopatógenos na manutenção da densidade de outro organismo a um nível mais baixo do que aquele que normalmente ocorreria na ausência desses. De forma aplicada, trata-se da utilização de inimigos naturais para manter o equilíbrio populacional das pragas nos agroecossistemas. Dentre os inimigos naturais, os insetos entomófagos (predadores e parasitoides) são agentes de grande importância na manutenção do equilíbrio populacional de insetos-praga na agricultura (Parra *et al.* 2002, Tanwar *et al.* 2007, Gautam *et al.* 2010, Ram & Saini 2010).

O controle biológico pode ser classificado de acordo com a estratégia adotada na implementação, natural por conservação e aplicado. Este último, ainda, pode ser classificado em clássico e aumentativo, introdução e multiplicação de inimigos naturais, respectivamente (Ann 2004, Parra *et al.* 2002).

O controle biológico natural é uma estratégia usada para possibilitar a sobrevivência e o desempenho comportamental e fisiológico de inimigos naturais existentes em campo (Barbosa 1998). Portanto, isto envolve modificações no ambiente com a finalidade de reduzir o impacto sobre os inimigos naturais (De Bach & Rosen 1991).

O controle biológico clássico é obtido através do uso de inimigos naturais exóticos. A fim de reduzir a população de uma praga, usualmente também exótica, abaixo dos níveis de dano econômico (Parra *et al.* 2002). Um exemplo de sucesso do controle biológico clássico no Brasil foi

a introdução de *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant, importada do Chile para o controle de *Planococcus citri* Risso (Hemiptera: Pseudococcidae), conhecida como cochonilha-branca dos citros (Kairo *et al.* 2013).

O controle biológico realizado de forma aumentativa envolve a multiplicação de inimigos naturais nativos ou exóticos para liberações periódicas, aumentando o número de agentes de controle biológico no campo (Parra *et al.* 2002).

Coccinelídeos

No grupo dos insetos predadores da ordem Coleoptera, destaca-se a família Coccinellidae, que compreende as joaninhas ou coccinelídeos. Muitas espécies de joaninhas são empregadas no controle biológico de pragas, devido ao fato de que tanto as larvas como os adultos de joaninhas possuem grande atividade de busca por presa, ocupam todos os ambientes de suas presas e são muito vorazes (Hodek 1973).

Coccinellidae possui mais de 6.000 espécies descritas, distribuídas em 360 gêneros (Vandenberg 2002) e, aproximadamente, 2.000 espécies são da região Neotropical (Almeida & Ribeiro-Costa 2009). Coccinellidae possui sete subfamílias: Coccidullinae, Coccinellinae, Scymninae, Ortaliinae, Chilocorinae, Sticholotidinae e Epilachninae (Kovár 1996). Além das características morfofisiológicas, essas subfamílias são também caracterizadas pelo comportamento alimentar. Com base na preferência por presas, espécies de Coccinellinae são predadoras predominantemente de pulgões e psilídeos; Coccidullinae de pulgões, cochonilhas e formigas; Chilocorinae de pulgões e cochonilhas; Ortaliinae de cigarrinhas, psilídeos e formigas; Sticholotidinae de pulgões e cochonilhas; e Scymninae de ácaros, pulgões e cochonilhas. Entretanto, a fitofagia também ocorre sendo uma exceção do grupo, representado apenas pela subfamília Epilachninae (e.g. *Epilachna* spp.) (Giorgi *et al.* 2009).

Devido ao hábito alimentar, os coccinelídeos vêm sendo empregados no controle biológico de pulgões, moscas-brancas, psilídeos, tripes, ácaros e cochonilhas (Gordon 1985, Majerus & Kearns 1989, Hodek & Honek 2009, Obrycki *et al.* 2009), tanto em programas de controle biológico clássico como aumentativo. O primeiro caso bem sucedido de controle biológico clássico ocorreu no final da década de 1880 na Califórnia, com a introdução da joaninha *Rodolia cardinalis* (Mulsant) para o controle da cochonilha *Icerya purchasi* Maskell em citros (De Bach & Schlinger 1964, Caltagirone & Doult 1989). A partir deste sucesso, outras espécies de joaninhas exóticas têm sido estudadas e utilizadas para controlar insetos praga introduzidos em novas áreas (Iperti 1999).

A joaninha *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant, nativa da Austrália, foi introduzida na Califórnia entre 1891-92 por Albert Koeble, para controlar espécies de cochonilhas que estavam atacando citros (Sanches *et al.* 2002). É uma espécie predadora de ampla gama de cochonilhas (Babu & Azam 1987), sendo eficiente como agente do controle de *Ferrisia dasyrillii* Cockerell, em plantas ornamentais no Egito (Attia & El-Arnouty 2007) e no controle de *Maconellicoccus hirsutus* (Green) na Índia (Mani & Krishnamoorthy 2008). No Brasil, foi utilizada para o controle da cochonilha-branca dos citros *Planococcus citri* (Risso) (Kairo *et al.* 2013). Devido a sua importância como predadora de cochonilhas, *C. montrouzieri* tem sido introduzida em mais de 40 países nas regiões temperadas e tropicais (Maes *et al.* 2015).

Além de *C. montrouzieri*, a joaninha *Tenuisvalvae notata* (Mulsant) também é uma espécie importante na predação de cochonilhas, pois possui alta voracidade e alimenta-se de cochonilhas tanto na fase larval quanto adulta (Barbosa *et al.* 2014a). Como ambas espécies de coccinelídeos possuem alta capacidade de predação e desenvolvimento como predadoras de cochonilhas farinhentas, estas podem apresentar nicho similar, resultando em competição pelo recurso em um mesmo local, ou podem interagir de forma cooperativa, sendo aliadas no controle biológico de cochonilhas.

***Tenuisvalvae notata* (Mulsant)**

A joaninha *T. notata* pertence à tribo Hyperaspidini e subfamília Scymninae (Giorgi *et al.* 2009). Esta joaninha é nativa da América do Sul (Dreyer *et al.* 1997), foi introduzida com sucesso na África na década de 1980 como agente de controle biológico da cochonilha da mandioca *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero, juntamente com o parasitoide *Apoanagyrus lopezi* (De Santis) (Herren & Neuenschaeabder 1991, Chakupurakal *et al.* 1994).

A ocorrência natural tem registro na Bolívia, Colômbia, Paraguai e Brasil. Neste último, sua ocorrência é citada nos estados do Amapá, Bahia, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro, Rondônia, São Paulo e Pernambuco (Dreyer *et al.* 1997, Peronti *et al.* 2016). Nos planaltos colombianos é considerada uma predadora com preferência por *Phenacoccus herreni* Cox & Williams, já ao sul do Brasil e Paraguai é citada associada com *P. manihoti* (Löhr *et al.* 1990, Sullivan *et al.* 1991).

Recentemente, adultos de *T. notata* foram coletados na região Semiárida de Pernambuco associados às cochonilhas *Phenacoccus solenopsis* Tinsley e *F. dasyrillii* em plantas de algodão. Também foram encontrados em palma forrageira, *Opuntia ficus-indica* (L.), infestada com a falsa cochonilha-do-carmim *Dactylopius opuntiae* Cockerell, embora não complete o ciclo predando esta cochonilha (Barbosa *et al.* 2014a, Giorgi *et al.* 2018, Torres & Giorgi 2018). Em outro estudo, realizado no Estado de São Paulo, com o intuito de quantificar os inimigos naturais associados a *Hibiscus rosasinensis* L., adultos de *T. notata* foram encontrados pela primeira vez predando a cochonilha-rosada-do-hibisco *M. hirsutus* (Peronti *et al.* 2016).

Outras espécies de *Tenuisvalvae*, também foram relatadas ocorrendo no Brasil, tais como: *Tenuisvalvae bisquinquepustulata* Fab. predadora de *Planococcus* sp. e *Phenacoccus* sp., *Tenuisvalvae bromelicola* (Sicard) com preferência alimentar por *Dysmicoccus brevipes* (Cockerell) (Gordon & Canepari 2008), *Tenuisvalvae deyrollei* (Crotch) que foi relatada predando

Parthenolecanium perlatum (Cockerell) (Ricci 1985), e *Tenuisvalvae quadripunctata* sp. nov. (Duverger) predadora de *P. perlatum* (Gordon & Canepari 2008, Santos *et al.* 2017).

Portanto, o gênero *Tenuisvalvae* apresenta potenciais espécies predadoras de Pseudococcidae. Além das condições ambientais, como temperatura, a espécie da presa é um fator chave que influencia o sucesso do programa de controle biológico, pois a qualidade e a quantidade da praga alvo pode alterar o potencial predatório do inimigo natural (Santana *et al.* 2010), podendo apresentar sobrevivência significativamente maior quando há oferta do alimento preferencial (Barbosa *et al.* 2014b). Estudos apontam que *T. notata* é uma espécie especialista em Pseudococcidae, podendo ter uma importante relação com este grupo de praga (Barbosa *et al.* 2014b), destacando-se para as cochonilhas *F. dasyrillii* e *P. citri*.

Requerimento Térmico e Modelos Bioclimáticos de Distribuição de Espécies

Diversos fatores são importantes para a determinação do potencial de predadores como agentes de controle biológico. Por exemplo, o consumo alimentar, o comportamento de busca pela presa e o impacto das variáveis ambientais, como temperatura e umidade, sobre as populações tanto das presas quanto do predador (Hagen *et al.* 1976).

Dentre os fatores abióticos, a temperatura é considerada a mais importante, pois a taxa de desenvolvimento é afetada pela temperatura à qual os insetos estão expostos (Campbell *et al.* 1974). Além disso, os insetos requerem uma certa quantidade de unidades de calor (graus-dia) para passar de uma fase para outra (Gordan 1999). Conseqüentemente, a temperatura pode influenciar a dinâmica populacional dos insetos praga e seus inimigos naturais no ambiente (Huffaker *et al.* 1999).

Os insetos são organismos poiquilotérmicos (pecilotérmicos ou ectotérmicos), ou seja, a temperatura corporal varia em função da temperatura ambiente (Angilletta 2009). Dessa forma,

estudos mostram que o aumento na temperatura ambiental usualmente leva a um aumento na taxa metabólica do inseto, e como resultado, as taxas de predação e desenvolvimento tendem a crescer de forma exponencial (Khan *et al.* 2016). Portanto, o efeito da temperatura nos insetos é geralmente determinado em função da sua sobrevivência, fecundidade, parâmetros demográficos e taxa de crescimento e desenvolvimento, os quais são usados para prever as interações dos agentes de controle biológico e as pragas alvo.

Os insetos apresentam limites térmicos e uma faixa de temperatura requerida para seu desenvolvimento e sobrevivência, que podem variar em diferentes estádios de desenvolvimento, espécies e populações (Honek & Kocourek 1988). A temperatura mínima que abaixo dela não há desenvolvimento do inseto é, também, conhecida como limiar de temperatura ou temperatura base (T_b) e a temperatura máxima é aquela que acima desta o inseto não se desenvolve. Assim, o intervalo de temperatura entre esses dois extremos é chamado de faixa térmica de desenvolvimento da espécie (Murray 2008). Já na temperatura ótima os insetos têm o seu melhor desenvolvimento (Shi *et al.* 2011). Além disso, a quantidade de calor requerida ao longo do tempo para que o inseto complete seu desenvolvimento é considerada uma constante térmica (K) em graus-dias (GD) (Kim & Lee 2008, Moerkens *et al.* 2011).

Hodek & Honek (1996) mostraram que os valores da temperatura base e da constante térmica de uma espécie de inseto são geralmente determinados através da taxa de emergência, crescimento e abundância sazonal em uma dada circunstância. Papanikolaou *et al.* (2014) relataram que a soma térmica é útil na previsão da fenologia de coccinelídeos. Assim, em casos onde as condições ambientais no local de introdução são similares às condições desejadas (e.g. ideais para o desenvolvimento do inseto), as chances do estabelecimento do inimigo natural aumentam.

Nesse contexto, modelos bioclimáticos de distribuição de espécies ou de nichos ecológicos são ferramentas usadas com diversas aplicações (Beaumont *et al.* 2005), como na distribuição de

espécies invasoras (Peterson 2003) e na avaliação do risco de pragas (Nietschke *et al.* 2008). Em condições encontradas em campo podem prever o desenvolvimento do inseto em uma faixa de temperatura e estimar a dinâmica populacional da praga e do inimigo natural (Fan & Drumond 1992, Briere *et al.* 1998, Kim & Lee 2008, Moerkens *et al.* 2011, Khan *et al.* 2016). Além disso, estes modelos nos ajudam a definir quais são as condições mais apropriadas para a criação massal dos inimigos naturais, em laboratório.

Stephens & Dentener (2005), empregaram o programa computacional DYMEX para prever flutuações populacionais de *Thrips palmi* (Karny) em áreas da Nova Zelândia, bem como Su & Zhai (2002), empregaram esse mesmo “software” para simular a dinâmica populacional de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), na província de Jiangsu China. Koch *et al.* (2006) estudando o potencial invasivo da joaninha *Harmonia axyridis* (Pallas), com base em seus dados biológicos em função da temperatura, determinaram que esta espécie possui potencial de se estabelecer em todas regiões da América do Sul. Outro exemplo é a base de dados da North Carolina State University - NCSU APHIS Plant Pest Forecasting System (NAPPFASST). Esta ferramenta de mapeamento baseada no clima foi usada para prever o estabelecimento potencial de *Scirtothrips dorsalis* (Hood) na América do Norte (Nietschke *et al.* 2008).

Além desses “softwares”, há também o “Climate Change Experiment (CLIMEX)” que modela as atuais ou futuras distribuições das espécies. Por exemplo, Benito *et al.* (2016) delimitaram a distribuição e o potencial impacto econômico de *Drosophila suzukii* (Matsumura) no Brasil. Em outro estudo, Poutsma *et al.* (2008) estimaram a distribuição geográfica de *H. axyridis* através do clima da sua região de origem e outras regiões do mundo, levando em conta as características biológicas das espécies. Enquanto Ceballo *et al.* (2010), utilizaram o CLIMEX para avaliar a influência das condições climáticas no Sudeste de Queensland, Austrália, sobre a eficácia do parasitoide *Coccidoxenoides perminutus* Girault para o controle da cochonilha *P. citri*.

Portanto, modelos bioclimáticos de distribuição de espécies, como o CLIMEX, são importantes para estimar o potencial de uma espécie de sobreviver e estabelecer em um determinado local, com base em informações de sua biologia sobre variadas temperaturas e dados meteorológicos das áreas de interesse (Peterson 2003). Além disso, é uma ferramenta para avaliações de risco de pragas (Baker *et al.* 2000), podendo direcionar a busca e tomada de decisão no uso de espécies de inimigos naturais em programas de controle biológico clássico, prevendo a probabilidade e o impacto do estabelecimento de um agente de controle biológico (van Lenteren *et al.* 2003).

Interações de Predadores Nativos e Exóticos

Espécies de inimigos naturais exóticos quando introduzidos em um novo ambiente irão interagir não somente com a praga alvo do manejo, mas também com outras espécies de predadores e parasitoides nativos que compõem a teia alimentar local. As interações entre as espécies de coccinelídeos podem variar entre predação e canibalismo. E, conseqüentemente, podem influenciar a dinâmica populacional de ambas as espécies de predadores (Polis 1981, Duelli & Obrist 1998), podendo ocorrer exclusão competitiva, deslocamento de inimigos naturais nativos e a supressão ou extinção de espécies de presas não alvo, que ocasionalmente podem ser benéficas.

Além disso, pode ocorrer a predação intraguilda, a qual é definida como sendo uma combinação de competição e predação, ou seja, duas espécies diferentes de predadores competem entre si por um mesmo recurso e uma delas ou ambas predam seu competidor (Polis *et al.* 1989). A predação intraguilda é um dos fatores avaliados em programas de controle biológico clássico (Mallampalli *et al.* 2002, Kajita *et al.* 2006), pois quando o predador intraguilda (ex. espécie exótica) desloca ou exclui a presa intraguilda (ex. espécie nativa), ela é considerada negativa em um programa de controle biológico. Por exemplo, a joaninha *H. axyridis* exerce predação

intraguilda sobre a joaninha *Cycloneda sanguinea* (L.) devido à amplitude da dieta, preferências de habitat e limiares térmicos para o desenvolvimento de ambas as espécies. A sobreposição de nicho entre essas espécies é considerável, e *H. axyridis* tem vantagens intrínsecas sobre *C. sanguinea* (Michaud 2002). Em outro estudo, Masetti *et al.* (2018) sugeriram a ocorrência de um impacto direto da espécie exótica *H. axyridis* na espécie nativa *Adalia bipunctata* (L.), cujo nicho ecológico se sobrepõe amplamente ao de *H. axyridis*. Sendo assim, o estabelecimento de espécies invasoras é considerado como a principal causa do declínio de espécies nativas (Roy *et al.* 2011, New 2016).

Neste contexto, a introdução de joaninha *C. montrouzieri*, no Brasil, para controlar cochonilhas em sistemas agrícolas, pode ocasionar algum tipo de efeito sobre a espécies de joaninhas nativas, tais como *T. notata*, a qual compete pelo mesmo tipo de alimento e pode apresentar distribuição geográfica similar as áreas de ocorrência e estabelecimento de *C. montrouzieri*. Dessa forma, é importante se fazer a previsão de ocorrência de ambas as espécies, tomando como base suas exigências térmicas e modelos bioclimáticos, para servir de base no manejo de cochonilhas farinhentas. Este trabalho teve como objetivo avaliar se haverá efeito da espécie de presa (*F. dasyrillii* ou *P. citri*) no desenvolvimento de *T. notata*; determinar o requerimento térmico (Tb e K) para o desenvolvimento de *T. notata*, alimentadas de *F. dasyrillii* e *P. citri*; determinar os efeitos da temperatura no ciclo de vida, reprodução e taxa de predação sobre essas presas em condições de laboratório; estimar a distribuição global de *T. notata* e *C. montrouzieri*, sua fenologia em quatro localidades do Estado de Pernambuco e estimar possíveis interações entre *T. notata* e *C. montrouzieri* quando a coexistência em no cenário atual de condições climáticas.

Literatura Citada

Almeida, L.M. & C.S. Ribeiro-Costa. 2009. Coleópteros predadores (Coccinellidae), p. 931-968. In A.R. Panizzi, & J.R.P. Parra (eds.), Bioecologia e nutrição de insetos: base para o manejo integrado de pragas. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 1164p.

- Angilletta, J.M. 2009.** Thermal adaptation: a theoretical and empirical synthesis. Oxford, Oxford University Press, 289p.
- Ann, H. 2004.** Natural enemies: an introduction to biological control. Cambridge, Cambridge University Press, 378p.
- Attia, R.A. & S.A. El-Arnouty. 2007.** Use of the coccinellid predator, *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant against the striped mealybug, *Ferrisia virgata* (Ckll.) on the ornamental plant, *Agalypha macrophylla* in Egypt. Egypt J. Biol. Pest. Control. 17: 71–76.
- Babu, T.R. & K.M. Azam. 1987.** Biology of *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant, (Coccinellidae: Coleoptera) in relation with temperature. Entomophaga 32: 381–386.
- Baker, R.H.A., C.E. Sansford, C.H. Jarvis, R.J.C. Cannon, A. MacLeod & K.F.A. Walters. 2000.** The role of climatic mapping in predicting the potential geographical distribution of non-indigenous pests under current and future climates. Agric. Ecosyst. Environ. 82: 57–71.
- Barbosa, P. 1998.** Conservation biological control. New York, Academic Press, 397p.
- Barbosa, P.R.R., M.D. Oliveira, J.A. Giorgi, C.S.A. Silva-Torres & J.B. Torres. 2014a.** Predatory behavior and life history of *Tenuisvalvae notata* (Coleoptera: Coccinellidae) under variable prey availability conditions. Fla. Entomol. 97: 1026–1034.
- Barbosa, P.R.R., M.D. Oliveira, J.A. Giorgi, J.E.M. Oliveira & J.B. Torres. 2014b.** Suitability of two prey species for development, reproduction, and survival of *Tenuisvalvae notata* (Coleoptera: Coccinellidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 107: 1102–1109.
- Beaumont, L.J., L. Hughes & M. Poulsen. 2005.** Predicting species distributions: use of climatic parameters in BIOCLIM and its impact on predictions of species current and future distributions. Ecol. Model. 186: 250–269.
- Briere, J.F. & P. Pracros. 1998.** Comparison of temperature dependent growth models with the development of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). Environ. Entomol. 27: 94–101.
- Caltagirone, L.E. & R.L. Doutt. 1989.** The history of the Vedralia beetle importation into California and its impact on the development of biological control. Annu. Rev. Entomol. 34: 1–16.
- Campbell, A., B.D. Frazer, N. Gilbert, A.P. Gutierrez & M. Mackauer. 1974.** Temperature requirements of some aphids and their parasites. J. Appl. Ecol. 11: 431–438.
- Ceballo, F.A., G.H. Walter & W. Rochester. 2010.** The impact of climate on the biological control of citrus mealybug *Planococcus citri* (Risso) by the parasitoid *Coccidoxenoides perminutus* Girault as predicted by the climate-matching program CLIMEX. Philipp. Agric. Sci. 93: 317–328.
- Chagas, M.C.M., J.R.P. Parra, P. Milano, A.M. Nascimento, A.L.G.C. Parra & P.T. Yamamoto. 2002.** *Ageniaspis citricola*: criação e estabelecimento no Brasil, p. 377–394. In

J.R.P. Parra, P.S.M. Botelho, B.S. Corrêa-Ferreira, J.M.S. Bento (eds.), Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores. São Paulo, Manole, 609p.

Chakupurakal, R.H., J. Markham, P. Neuenschwander, M. Sakala, C. Malambo, D. Mulwanda, E. Banda, A. Chalabesa, T. Bird & T. Haug. 1994. Biological control of the cassava mealybug, *Phenacoccus manihoti* (Homoptera: Pseudococcidae), in Zambia. Biol. Control 4: 254–262.

De Bach, P. & E.I. Schlinger. 1964. Biological Control of Insect Pests and Weeds. London, Chapman and Hall, 844p.

De Bach, P. 1968. Control biológico de las plagas de insectos y malas hierbas. México, Editora Continental, 927p.

De Bach, P. & D. Rosen. 1991. Biological Control by Natural Enemies. Cambridge, Cambridge University Press, 440 p

Dreyer, B.S., P. Neuenschwander, J. Baumgärtner & S. Dorn. 1997. Trophic influences on survival, development and reproduction of *Hyperaspis notata* (Col., Coccinellidae). J. Appl. Entomol. 121: 249–256.

Duelli, P. & M.K. Obrist. 1998. In search of the best correlates for local organismal biodiversity in cultivated areas. Biodiv. Conserv. 7: 297–309.

Gautam, S., A.K. Singh & R.D. Gautam. 2010. Olfactory responses of green lacewing, *Chrysoperla* sp. (*carnea* group) and *Mallada desjardinsi* on mealybug, *Phenacoccus solenopsis* (Homoptera: Pseudococcidae) fed on cotton. Acta Entomol. Sinica 53: 497–507.

Giorgi, J.A., N.J. Vandenberg, J.V. McHugh, J.A. Forrester, S.A. Slipinski, K.B. Miller, L.R. Shapiro & M.F. Whiting. 2009. The evolution of food preferences in Coccinellidae. Biol. Control 51: 215–231.

Giorgi, J.A., P.R.R. Barbosa, J.E.M. Oliveira & J.B. Torres. 2018. *Prodiloides bipunctata* Weise (Coccinellidae: Cephaloscymnini): new research on native natural predators of the carmine cochineal, *Dactylopius opuntiae* (Cockerel) (Hemiptera: Dactylopiidae) in the Brazilian Semi-arid. Coleopt. Bull. 72: 562–565.

Gordan, H.T. 1999. Growth and development of insects, p. 55–82. In C.B. Huffaker & A.P. Gutierrez (eds.), Ecological entomology. 2nd ed., New York, Wiley, 776p.

Gordon, R.D. 1985. The Coccinellidae (Coleoptera) of America North of Mexico. J.N.Y. Entomol. Soc. 93: 352–599.

Gordon, R.D. & C. Canepari. 2008. South American Coccinellidae (Coleoptera). Part XI: a systematic revision of Hyperaspini (Hyperaspinae). Ann. Mus. Civ. Stor. Nat. "Giacomo Doria" 99: 245–512.

- Hagen, K.S., S. Bombosch & J.A. Mcmurtry. 1976.** The biology and impact of predators, p. 93–142. In C.B. Huffaker & P.S. Messenger (eds.), *Theory and Practice Biological Control*. New York, Academic Press, 788p.
- Herren, H.R. & P. Neuenschawander. 1991.** Biological control of cassava pests in Africa. *Annu. Rev. Entomol.* 36: 257–283.
- Hodek, I. 1973.** *Biology of Coccinellidae*. Prague, Academic of Sciences, 260p.
- Hodek, I. & A. Honek. 1996.** *Ecology of Coccinellidae*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 480p.
- Hodek, I. & A. Honek. 2009.** Scale insects, mealybugs, whiteflies and psyllids (Hemiptera, Sternorrhyncha) as prey of ladybirds. *Biol. Control* 51: 232–243.
- Honek, A. & F. Kocourek. 1988.** Thermal requirements for development of aphidophagous Coccinellidae (Coleoptera), Chrysopidae, Hemerobiidae (Neuroptera), and Syrphidae (Diptera): some general trends. *Oecologia* 76: 455–460.
- Huffaker, C., A. Berryman & P. Turchin. 1999.** Dynamics and regulation of insect populations, 269–305. In C.B. Huffaker & A.P. Gutierrez (eds.), *Ecological entomology*. 2nd ed., New York, Wiley, 776p.
- Kairo, M.T.K., O. Paraiso, R.D. Gautam & D.D. Peterkin. 2013.** *Cryptolaemus montrouzieri* (Mulsant) (Coccinellidae: Scymninae): a review of biology, ecology, and use in biological control with particular reference to potential impact on non-target organisms. *CAB Rev.* 8: 1–20.
- Kajita, K., F. Takano, H. Yasuda & E.W. Evans. 2006.** Interactions between introduced and native predatory ladybirds (Coleoptera: Coccinellidae): factors influencing the success of species introductions. *Ecol. Entomol.* 31: 58–67.
- Khan, J., Ehsan-ul-Haq, A.U.R. Saljoki & A. Rehman. 2016.** Effect of temperature on biological attributes and predatory potential of *Harmonia dimidiata* (Fab.) (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Rhopalosiphum padi* aphid. *J. Entomol. Zool. Stud.* 4: 1016–1022.
- Kim, I. & J.I. Lee. 2008.** Phenology simulation model of *Scotinophara lurida* (Hemiptera: Pentatomidae). *Pop. Ecol.* 37: 660–669.
- Koch, R.L., R.C. Venette & W.D. Hutchison. 2006.** Invasions by *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) in the western hemisphere: implications for South America. *Neotrop. Entomol.* 35: 421–434.
- Kovář, I. 1996.** Phylogeny, p.19–31. In I. Hodek & A. Honek (eds.), *Ecology of Coccinellidae*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 464p.
- Löhr, B., A.M. Varela & B. Santos. 1990.** Explorations for natural enemies of the cassava mealybug *Phenacoccus manihoti* (Homoptera: Pseudococcidae), in South America for the biological control of this pest introduced in Africa. *Bull. Entomol. Res.* 80: 417–425.

- Maes, S., J.C. Grégoire & P. De Clercq. 2015.** Cold tolerance of the predatory ladybird *Cryptolaemus montrouzieri*. *BioControl* 60: 199–207.
- Majerus, M.E.N. & P. Kearns. 1989.** Ladybirds. London, Richmond Publishing Co, 103p.
- Mallampalli, N., I. Castellanos & P. Barbosa. 2002.** Evidence for intraguild predation by *Podisus maculiventris* on a ladybeetle, *Coleomegilla maculata*: Implications for biological control of Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*. *BioControl* 47: 387–398.
- Mani, M. & A. Krishnamoorthy. 2008.** Biological suppression of the mealybugs *Planococcus citri* (Risso), *Ferrisia virgata* (Cockerell) and *Nipaecoccus viridis* (Newstead) on pummel with *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant in India. *J. Biol. Control*. 22: 169–172.
- Masetti, A., S. Magagnoli, F. Lami, A. Lanzoni & G. Burgio. 2018.** Long term changes in the communities of native ladybirds in Northern Italy: Impact of the invasive species *Harmonia axyridis* (Pallas). *BioControl* 63: 665–675.
- Michaud, J.P. 2002.** Invasion of the Florida citrus ecosystem by *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) and asymmetric competition with a native species, *Cycloneda sanguinea*. *Environ. Entomol.* 31: 827–835.
- Moerkens, R., B. Gobin, G. Peusens, H. Helsen, R. Hilton, H. Dib & H. Leirs. 2011.** Optimizing biocontrol using phenological day degree models: the European earwig in pipfruit orchards. *Agric. For. Entomol.* 13: 301–312.
- Murray, M.S. 2008** Using degree days to time treatments for insect pests. Logan: Utah Pests Fact sheet. Utah State University Extension, 5p.
- New, T.R. 2016.** Alien species and insect conservation. Switzerland, Springer, 230p.
- Nienschke, B.S., D.M. Borchert, R.D. Magarey & M.A. Ciomperlik. 2008.** Climatological potential for *Scirtothrips dorsalis* (Thysanoptera: Thripidae) establishment in the United States. *Fla. Entomol.* 91: 79–86.
- Obrycki, J.J., J.D. Harwood, T.J. Kring & R.J. O’Neil. 2009.** Aphidophagy by Coccinellidae: application of biological control in agroecosystems. *Biol. Control* 51: 244–254.
- Paine, T.D., D.L. Dahlsten, J.G. Millar, M.S. Hoddle & L.M. Hanks. 2000.** UC Scientists Apply IPM Techniques To New Eucalyptus Pest. *Calif. Agric.* 54: 8–13.
- Papanikolaou, N.E., P.G. Milonas, D.C. Kontodimas, N. Demiris & Y.G. Matsinos. 2014.** Life table analysis of *Propylea quatuordecimpunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) at constant temperatures. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 107: 158–162.
- Parra, J.R.P., P.S.M. Botelho, B.S. Corrêa-Ferreira & J.M.S. Bento. 2002.** Controle biológico: terminologia, p. 1–16. In J.R.P Parra, P.S.M. Botelho, B.S. Corrêa-Ferreira & J.M.S. Bento (eds.), *Controle biológico no Brasil: parasitoides e predadores*. São Paulo, Manole, 609p.

- Peronti, A.L.B.G., N.M. Martinelli, J.G. Alexandrino, A.L. Marsaro Júnior, A.M. Penteadodias & L.M. Almeida. 2016.** Natural enemies associated with *Maconellicoccus hirsutus* (Hemiptera: Pseudococcidae) in the state of São Paulo, Brazil. *Fla. Entomol.* 99: 21–25.
- Peterson, A.T. 2003.** Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modelling. *Q. Rev. Biol.* 78: 419–433.
- Polis, G.A. 1981.** The evolution and dynamics intraspecific predation. *Annu Rev. Ecol. Syst.* 12: 225–251.
- Polis, G.A., C.A. Myers & R.D. Holt. 1989.** The ecology and evolution of intra guild potential competitors that eat each other. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 20: 297–330.
- Poutsma, J., A.J.M. Loomans, B. Aukema & T. Heijerman. 2008.** Predicting the potential geographical distribution of the harlequin ladybird, *Harmonia axyridis*, using the CLIMEX model. *BioControl* 53: 103–125.
- Ram, P. & R.K. Saini. 2010.** Biological control of solenopsis mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley on cotton: a typical example of fortuitous biological control. *J. Biol. Control* 24: 104–109.
- Roy, H.E, P.M.J. Brown, R. Frost & R.L. Poland. 2011.** Ladybirds (Coccinellidae) of Britain and Ireland. NERC Centre for Ecology & Hydrology, Wallingford, 200p.
- Sanches, N.F., R. da S. Carvalho, E.S. Silva, I.P. Santos & R.C. Caldas. 2002.** Técnica de criação do predador exótico *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Col.; Coccinellidae) em laboratório, Circular Técnica 47. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas. 8 p.
- Santana, S.W.J., R. Barros, J.B. Torres & M.G.C. Gondim Jr. 2010.** Exigências térmicas da praga do coqueiro *Atheloca subrufella* (Hulst) (Lepidoptera: Phycitidae). *Neotrop. Entomol.* 39: 181–186.
- Santos, P.B., C.F. Castro-Guedes, A.L.B.G. Peronti & L.M. Almeida 2017.** New species of *Tenuisvalvae* (Duverger) (Coleoptera: Coccinellidae) feeding on *Parthenolecanium perlatum* (Cockerell) (Hemiptera: Coccidae) in citrus crop. *Neotrop. Entomol.* 46: 507–513.
- Shi, P., F. Ge, Y. Sun & C. Chen. 2011.** A simple model for describing the effect of temperature on insect developmental rate. *J. Asia Pac. Entomol.* 14: 15–20.
- Stephens, A.E.A. & P.R. Dentener. 2005.** *Thrips palmi*—potential survival and population growth in New Zealand. *NZ Pl. Prot.* 58: 24–30.
- Su, Z., X. Zhang & B. Zhai. 2002.** Simulation and prediction of population dynamics of the fifth generation of *Helicoverpa armigera* (Hubner) in Jiangsu province. *Acta Entomol. Sin.* 45: 465–470.
- Sullivan, D.J., J.A. Castillo & A.C. Bellotti. 1991.** Comparative biology of six species of coccinellid beetles (Coleoptera: Coccinellidae) predaceous on the mealybug, *Phenacoccus*

herreni (Homoptera: Pseudococcidae), a pest on cassava in Colombia, South America. Environ. Entomol. 20: 685–689.

Tanwar, R.K., P. Jeykumar & D. Monga. 2007. Mealy bugs and their management. NCIPM, LBS Building, Pusa Campus, New Delhi, 20p. (Technical Bulletin 19).

Torres, J.B., & J.A. Giorgi. 2018. Management of the false carmine cochineal *Dactylopius opuntiae* (Cockerell): Perspective from Pernambuco state, Brazil. Phytoparasitica 46: 331–340.

van Lenteren, J.C., D. Babendreier, F. Bigler, G. Burgio, H.M.T. Hokkanen, S. Kuske, A.J.M. Loomans, I. MenzlerHokkanen, P.C.J. van Rijn, M.B. Thomas, M.G. Tommasini & Q-Q. Zeng. 2003. Environmental risk assessment of exotic natural enemies used in inundative biological control. BioControl 48: 3–38.

Vandenberg, N.J. 2002. Family 93. Coccinellidae Latreille 1807, p. 371–389 In R.H. Arnett Jr, M.C. Thomas, P.E. Skelley, J.H. Frank (eds.), American beetles. Polyphaga: Scarabaeoidea through Curculionoidea. Boca Raton, CRC Press, 836p.

CAPÍTULO 2

RESPOSTA DE *Tenuisvalvae notata* (MULSANT) (COLEOPTERA: COCCINELLIDAE) A DIFERENTES TEMPERATURAS PREDANDO DUAS ESPÉCIES DE COCHONILHAS¹

LARISSA F. FERREIRA¹

¹Departamento de Agronomia, Fitossanidade – Entomologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-900, Recife, Pernambuco, Brasil.

¹Ferreira, L.F. Resposta de *Tenuisvalvae notata* (Mulsant) (Coleoptera: Coccinellidae) a diferentes temperaturas predando duas espécies de cochonilhas. A ser submetido.

RESUMO – O desenvolvimento e atividades dos insetos sofrem efeito direto da temperatura. Neste trabalho foram determinadas as exigências térmicas, desempenho reprodutivo e predação da joaninha predadora *Tenuisvalvae notata* (Mulsant) alimentadas com *Ferrisia dasyrillii* Cockerell ou *Planococcus citri* (Risso), em função das temperaturas: 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 38 °C. As temperaturas de 16, 18 e 38 °C foram inadequadas ao desenvolvimento de *T. notata*. Ainda, a exposição de ovos a 33, 34, 35 e 36 °C, resultou em 100% de viabilidade até 33°C, porém as larvas não sobreviveram. Também, adultos expostos a essas temperaturas não ovipositaram e morreram antes de sete dias de idade. Para o intervalo de temperatura com viabilidade de desenvolvimento e reprodução, o modelo Linear de Campbell estimou temperatura base de desenvolvimento de 11,8 e 12,1 °C, e constante térmica de 520,83 e 529,10 graus-dia. Enquanto o modelo não linear de Brière¹ estimou as temperaturas ótima e máxima como sendo 31,0 e 31,1 °C e 36,4 e 36,5 °C para *T. notata* predando *F. dasyrillii* e *P. citri*, respectivamente. Nas temperaturas elevadas ocorreu diminuição do período de pré-oviposição e sobrevivência das fêmeas, enquanto que nas temperaturas extremas (20 e 32 °C) foram observados diminuição da fecundidade e viabilidade de ovos. A taxa de predação de *T. notata* aumentou com a temperatura até 32 °C, sendo que os adultos de *T. notata* predaram mais ninfas de *P. citri* que *F. dasyrillii*. Esses resultados possibilitam dimensionar condições favoráveis de criação para *T. notata*, bem como prever potencial sucesso para um programa de controle biológico de cochonilhas com *T. notata*.

PALAVRAS-CHAVE: Interação predador-presa, requerimento térmico, desenvolvimento, Pseudococcidae

RESPONSE OF *Tenuisvalvae notata* (MULSANT) (COLEOPTERA: COCCINELLIDAE) TO
DIFFERENT TEMPERATURES PREYING UPON TWO MEALYBUG SPECIES

ABSTRACT – Insect development and activities are directly affected by temperature. This study determined the thermal requirements, fitness, and predation of *T. notata* fed *Ferrisia dasyrillii* Cockerell or *Planococcus citri* (Risso) (Hemiptera: Pseudococcidae) under different constant temperatures: 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 38 °C. The temperatures 16, 18 and 38 °C were inadequate for *T. notata* development. Egg exposed to 33, 34, 35 and 36 °C resulted in 100% viability up to 33 °C, but hatched larvae did not survive. In addition, adults exposed to these temperatures did not oviposit and died earlier than being seven days old. To the temperature interval with development and reproduction, the Campbell Linear model estimated the lower temperature thresholds of 11.8 and 12.1 °C, and thermal constants of 520.83 and 529.10 day-degrees. Meanwhile, for the Brière1 non-linear model estimated the optimal and maximum temperatures as 31.0 and 31.1 °C, and 36.4 and 36.5 °C for *T. notata* preying upon *F. dasyrillii* and *P. citri*, respectively. In higher temperatures, there was a reduction in the pre-oviposition period and survival of females, while the extreme temperatures (20 and 32 °C), there was a reduction in fecundity and egg viability. Predation rate of *T. notata* increased with temperature up to 32 °C, and *T. notata* adults consumed more nymphs of *P. citri* than *F. dasyrillii*. These results help to measure and provide favorable conditions to rear *T. notata*, as well as to predict potential success of biological control programs of mealybugs with *T. notata*.

KEY WORDS: Predator-prey interaction, thermal requirements, development, Pseudococcidae

Introdução

Além da quantidade e qualidade do alimento, a temperatura é um fator importante que influencia o desempenho biológico dos insetos (Davis *et al.* 1996, Trudgill *et al.* 2005, Estay *et al.* 2009, Kang *et al.* 2009). O conhecimento do limiar de temperatura ou temperatura base (T_b), que permite o desenvolvimento do inseto, aliado a constante térmica (K) que é o requerimento em graus-dias para completar esse desenvolvimento, podem ser indicadores úteis do potencial de distribuição dos insetos (Messenger 1959). Nos estudos de impacto da temperatura, o conhecimento dos limiares térmicos do predador e da espécie praga alvo é importante no desenvolvimento do controle biológico, uma vez que a temperatura influencia o desempenho biológico destes organismos (Davis *et al.* 1996, Estay *et al.* 2009). A temperatura afeta características fisiológicas e ecológicas nos insetos, influenciando a interação presa predador, como alterar as velocidades individuais do corpo, aumentando (ou diminuindo) o encontro e a taxa de consumo entre esses indivíduos (Vucic-Pestic *et al.* 2011, Dell *et al.* 2014). Fato relevante nas atuais variações globais e locais do regime de temperatura (Zuim *et al.* 2017).

O conhecimento dos padrões nutricionais e ecológicos sob a influência do principal fator que afeta os insetos como a temperatura pode auxiliar na criação, previsão de estabelecimento e eficiência dos inimigos naturais (Pervez & Omkar 2004, Freitas *et al.* 2006). Em relação ao alimento, muitos coccinelídeos completam seu desenvolvimento e produzem uma progênie viável quando consomem sua presa preferencial, a qual estimula e mantém a produção de ovos (Ipert 1999). Fêmeas de *Rodolia cardinalis* (Mulsant) depositam diariamente 16; 4,3 e 3,8 ovos quando alimentadas com *Icerya purchasi* Maskell, dieta apenas composta de sacarose ou dieta quimicamente definida, respectivamente (Hagen 1987). Portanto, a qualidade e o tipo de alimento têm impacto significativo sobre o crescimento, o desenvolvimento e a reprodução das joaninhas. Assim, a espécie de praga alvo (presa) influencia o sucesso do programa de controle biológico,

pois o inimigo natural deve além de consumir a praga, ter preferência pela mesma no local de liberação, a fim de levar a uma redução significativa na sua população (Parajulee & Phillips 1993, Santana *et al.* 2010).

A joaninha predadora *Tenuisvalvae notata* (Mulsant), nativa da América do Sul (Dreyer *et al.* 1997a), tem preferência alimentar por cochonilhas farinhentas (Pseudococcidae). Esta espécie foi introduzida na década de 1980 na África, juntamente com o parasitoide *Apoanagyrus lopezi* (DeSantis) para controlar a cochonilha da mandioca, *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero (Herren & Neuenschawabder 1991, Chakupurakal *et al.* 1994). Essa joaninha, também, encontra-se distribuída em várias regiões do Brasil, desde o Semiárido de Pernambuco, até o sul e sudeste (Dreyer *et al.* 1997a, Barbosa *et al.* 2014a, Silva-Torres *et al.* 2013). Dessa forma, demonstra capacidade de adaptação a variações nas condições climáticas locais e de disponibilidade de presa, o que pode ser fundamental para o estabelecimento do inimigo natural e, conseqüentemente, para programas de controle biológico.

Nesse contexto, estudos envolvendo *T. notata* avaliaram a capacidade de predação, a sobrevivência e a oviposição quando submetidas a diferentes intervalos de oferta de presa (Barbosa *et al.* 2014a,b). Entretanto, estudos voltados ao desenvolvimento de *T. notata* relacionado com os efeitos dos agentes abióticos nos parâmetros de história de vida de joaninhas, e a ação predatória, são escassos (Dreyer 1997a,b, Barbosa *et al.* 2014a,b). Estas informações são importantes para servir de suporte para viabilizar programas de controle biológico com esse predador.

Assim, neste trabalho objetivamos determinar o requerimento térmico (T_b e K), limiares de temperatura ótima e máxima para o desenvolvimento de *T. notata*, alimentadas com duas espécies de cochonilhas farinhentas, *F. dasyrillii* e *P. citri*, e os efeitos da temperatura no ciclo de vida, reprodução e taxa de predação sobre essas presas, em condições de laboratório.

Material e Métodos

Presas. As colônias das cochonilhas *F. dasyrillii* e *P. citri*, foram multiplicadas no Laboratório de Comportamento de Insetos do Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). A colônia de *F. dasyrillii* vem sendo mantida no laboratório por mais de sete anos (Barbosa *et al.* 2014a) e foram coletadas em plantas de algodão na área experimental do Departamento de Agronomia da UFRPE. Já a população de *P. citri* foi coletada em plantio de graviola no município Chã Grande, PE (8.25710 °S e 35.49386 °O, 496 m de altitude), e vem sendo mantida no mesmo laboratório por mais de 10 gerações.

A manutenção das colônias de cochonilhas é feita usando abóboras da variedade “Jacarezinho”, compradas periodicamente no Centro de Abastecimento Alimentar de Pernambuco (CEASA-PE), seguindo a metodologia descrita por Sanches & Carvalho (2010). Resumidamente, as abóboras são lavadas com detergente, secas e dispostas em caixas de acrílico de 40 × 25 × 20 cm (comprimento × altura × largura) forradas com papel toalha. À medida que a abóbora é totalmente colonizada pelas cochonilhas, esta pode ser usada para infestar outras abóboras, onde são infestadas na região do pedúnculo com fêmeas reprodutivas da cochonilha. O período decorrido da infestação à completa colonização da abóbora com cochonilhas adultas é de, aproximadamente, 30 dias, sob condições de temperatura 25 ± 2 °C, umidade relativa de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo 12:12h (Luz: Escuro).

Predador. Adultos de *T. notata* foram coletados em setembro de 2010 em plantas de algodoeiro infestadas por *Phenacoccus solenopsis* Tinsley e *F. dasyrillii* no município de Surubim, PE (07°49’59” S, 35°45’17” O). Em laboratório, *T. notata* foi mantida sob as mesmas condições de criação das cochonilhas *F. dasyrillii* e *P. citri*.

Adultos de *T. notata* foram confinados sobre abóboras infestadas pela cochonilha no interior das caixas (gaiolas) de acrílico. A gaiola é forrada com papel toalha e recebe uma abóbora

infestada com a cochonilha *F. dasyrillii* em diferentes estágios de desenvolvimento, servindo como alimento para as joaninhas de acordo com Barbosa *et al.* (2014a).

Aspectos Biológicos e Reprodutivos de *Tenuisvalvae notata*. Este experimento foi conduzido para avaliar o período de desenvolvimento ovo-adulto, razão sexual, fecundidade, fertilidade e sobrevivência das fêmeas de *T. notata*, submetidas a diferentes temperaturas e a duas espécies de presas.

Inicialmente, pupas de *T. notata* foram individualizadas em placas de acrílico (5 cm de diâmetro) e observadas diariamente para anotar a emergência dos adultos. Adultos recém emergidos foram alimentados em abundância com *F. dasyrillii* ou *P. citri*, e separados entre machos e fêmeas com base no dimorfismo sexual. As fêmeas apresentam duas manchas entre os olhos na parte superior da cabeça, são maiores e possuem a porção final do abdome com formato afunilado. Já os machos não possuem as manchas entre os olhos, possuem uma mancha branca na porção marginal do mesoesterno e abdome mais arredondado (Barbosa *et al.* 2014a). Após cinco dias da emergência dos adultos, 30 casais foram pareados na proporção de um casal por placas de acrílico (5 cm de diâmetro × 1 cm de altura). No interior das placas contendo os casais foi colocado um recorte de papel toalha de aproximadamente 0,5 cm² servindo como substrato para oviposição. Os casais foram alimentados com ninfas e adultos de *F. dasyrillii* (n=15) ou *P. citri* (n=15) ofertados em abundância. A fecundidade das fêmeas foi determinada.

Diariamente com auxílio de estereomicroscópio (Motic, SMZ-168) os ovos foram transferidos individualmente para novas placas de acrílico (3,5 cm de diâmetro), constituindo 30 repetições (ovos), por tipo de presa (2), e por temperatura (8). As placas foram fechadas com plástico filme de PVC e transferidas para câmaras climáticas tipo B.O.D. (Biochemical Oxygen Demand), regulada nas respectivas temperaturas de 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32 e 38 ± 1 °C, umidade relativa de 70 ± 5% e fotoperíodo de 12L:12E (horas de luz: escuro). Estas temperaturas foram

escolhidas de acordo com resultados prévios de desenvolvimento de *T. notata* (Dreyer *et al.* 1997b).

A eclosão das larvas foi observada diariamente sob estereomicroscópio. Para determinar a mudança de instar, observou-se a presença da exúvia. A duração e a viabilidade de cada fase de desenvolvimento foi determinada para cada temperatura entre 20 e 32 °C, sendo que as demais temperaturas (16, 18 e 38 °C) foram excluídas pois não houve desenvolvimento embrionário. As larvas de *T. notata* foram alimentadas com ninfas neonatas de *F. dasyrillii* ou *P. citri* até atingirem o terceiro instar, de acordo com o respectivo tratamento. A partir do terceiro instar até a fase adulta, as joaninhas foram alimentadas com ninfas de cochonilhas no terceiro instar ou adultas. Foram anotadas a duração do período de ovo, duração do estágio larval, duração da fase de pupa, emergência de adulto e razão sexual dos descendentes, alimentadas com as duas presas nas diferentes temperaturas. Os resultados do desenvolvimento foram submetidos a análise de regressão pelo Proc REG do SAS (SAS Institute 2001) e comparados pelo teste de Tukey HDS ($\alpha = 0,05$). Os resultados da razão sexual foram calculados pela fórmula $RS = \text{número de fêmeas} / \text{número de fêmeas} + \text{número de machos}$ e comparados pelo teste de qui-quadrado (χ^2) ($\alpha = 0,05$) usando Proc FREQ do SAS (SAS Institute 2001).

Com a finalidade de determinar a fecundidade, os adultos recém-emergidos criados nas diferentes temperaturas e presas foram sexados e após cinco dias da emergência, formaram-se 10 casais por temperatura, os quais foram individualizados em placas de acrílico (5 cm de diâmetro) e alimentados com a mesma presa ofertada na fase larval, *F. dasyrillii* ou *P. citri*. Esses casais foram mantidos em câmaras tipo B.O.D nas diferentes temperaturas, umidade relativa de $70 \pm 5\%$ e fotoperíodo de 12L:12E (horas de luz: escuro). Os machos de *T. notata* permaneceram pareados com as fêmeas por um período de até 10 dias. A sobrevivência, fecundidade das fêmeas e a viabilidade dos ovos foram monitoradas durante 60 dias na fase adulta, pois *T. notata* pode viver

mais de 84 semanas a 20 °C e 60 semanas a 25 °C quando alimentada com *P. manihoti* (Dreyer 1997b), e as fêmeas após uma única cópula continuam depositando ovos férteis por um período de até 60 dias (Túler *et al.* 2017). Assim, não sendo necessário acompanhar a fecundidade das fêmeas ao longo de toda sua vida adulta para avaliar os efeitos da qualidade do alimento (Michaud & Jyoti 2008, Colares *et al.* 2015).

A sobrevivência das fêmeas de *T. notata*, submetidas aos diferentes regimes de temperatura e tipo de presa, foi estimada pelo método Kaplan-Meier e comparada pelo teste de Log-Rank usando o Proc LIFETEST do SAS. A fecundidade e fertilidade foram analisados através da ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Tukey HDS ($\alpha = 0,05$) quando significativas, usando o Proc GLM do SAS (SAS Institute 2001).

Requerimento Térmico de *Tenuisvalvae notata*. As estimativas da temperatura base (T_b) e da constante térmica (K) de *T. notata* foram obtidos através do modelo de soma térmica, que descreve a relação entre a taxa de desenvolvimento e a temperatura ambiente mediante o modelo de regressão linear, utilizando o PROC REG do SAS (Campbell *et al.* 1974, SAS Institute 2001). Através do modelo de acúmulo de calor, o limiar de desenvolvimento inferior foi calculado pela relação do intercepto pelo coeficiente linear (i.e., $T_b = -\alpha/\beta$); enquanto, a constante térmica foi estimada pelo inverso do coeficiente linear ($K = 1/\beta$) (Wigglesworth 1953, Campbell *et al.* 1974), sendo este o número de unidades de calor ou graus-dias acima de T_b , que é necessário para o completo desenvolvimento. O erro padrão dos valores médios de T_b e K foram estimados de acordo com a equação proposta por Campbell *et al.* (1974). Como o modelo linear não permite estimativas das temperaturas ótima e máxima de desenvolvimento, os resultados de desenvolvimento de *T. notata* alimentadas com as duas espécies de cochonilhas, em função das temperaturas estaudas, foram também submetidos a modelo não lineares (Rebaudo *et al.* 2018). Assim, a temperatura ótima (T_{op}) para o desenvolvimento e a temperatura máxima (T_{max}) foram

obtidas através do procedimento “devRate” do R (R Development Core Team 2013), sendo obtido o melhor ajuste através do modelo não linear de Brière-1 (Brière *et al.* 1999).

A partir dos resultados de T_b e K determinados pelo modelo linear de Campbell, a temperatura ambiente local (T_a) para quatro localidades (Chã Grande, Belo Jardim, Surubim e Petrolina) com citações de coleta de *T. notata*, bem como significativa ocorrência de cochonilhas farinhentas em fruteiras e outras culturas (Pacheco-da-Silva *et al.* submetido), o número anual ($T = 365$ dias) provável de gerações (NG) de *T. notata* foi estimado empregando a fórmula: $NG = T (T_a - T_b)/K$. As temperaturas médias anuais para as respectivas localidades (T_a) foram referentes ao período de 2008 a 2018 obtidas da base de dados da APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima) e da Climatedata.org.

Taxa de Predação de *Tenuisvalvae notata* em Função da Temperatura. Para estudar o comportamento de predação em função das diferentes temperaturas que permitiu o desenvolvimento (20, 22, 25, 28, 32 ± 1 °C) e diferentes presas (*F. dasyrillii* e *P. citri*) larvas de terceiro e quarto instares e fêmeas de *T. notata* foram monitoradas quanto ao consumo diário sobre ninfas de ambas as espécies de cochonilhas.

Para a condução do experimento, as larvas de joaninha foram criadas durante o primeiro e o segundo instares, com ninfas de primeiro e segundo instares de *F. dasyrillii* ou *P. citri*, que foram ofertadas em abundância. A partir do monitoramento do desenvolvimento dessas larvas, quando ocorreu a muda para o terceiro instar, foi estabelecido o tratamento para este experimento (larva de terceiro instar) e, assim, subsequentemente para larvas de quarto instar e fêmeas adultas.

As larvas de terceiro, quarto instares e fêmeas adultas receberam diariamente cinco ninfas de terceiro instar da respectiva cochonilha. As cochonilhas foram obtidas da colônia mantida no laboratório, sendo transferidas com auxílio de pincel de cerdas, e ofertadas sobre a placa de Petri (3,5 cm de diâmetro). As placas foram fechadas com plástico filme de PVC e acondicionadas em

câmaras tipo B.O.D. Foi avaliado o consumo diário das presas dos respectivos tratamentos, e quando necessário fez-se a reposição das ninfas consumidas. O consumo das larvas foi acompanhado durante o período de desenvolvimento larval, enquanto o consumo do adulto foi monitorado durante 10 dias. Cada tratamento constou de 25 repetições.

Os resultados do consumo total de presas (*F. dasyrillii* e *P. citri*) e o consumo médio diário de cada fase de desenvolvimento de *T. notata* foram submetidos a ANOVA e as médias separadas pelo teste de Tukey HDS ($\alpha = 0,05$) (SAS Institute 2001).

Resultados

Requerimento Térmico de *Tenuisvalvae notata*. O limiar térmico inferior ou temperatura base (Tb) para o desenvolvimento ovo-adulto de *T. notata* não mostrou variação ($P = 0,43$) entre as espécies de presas estudadas, sendo 14,5 °C estimada pelo modelo Brière1. Da mesma forma os valores estimados da constante térmica K foram similares para joaninhas alimentadas com *F. dasyrillii* e *P. citri*, respectivamente, não diferindo entre presas (Tabela 1). Além disso, as temperaturas ótima e máxima foram 31,0 e 36,5 °C, respectivamente para *T. notata* (Tabela 1). O modelo não linear Brière1 estimou uma taxa máxima de desenvolvimento de *T. notata* a 31 °C, do qual ocorre um declínio no desenvolvimento, o qual cessa em aproximadamente 36 °C (Fig. 1).

Com base nos resultados de limiar térmico inferior e constante térmica estimados pelo modelo linear, o número médio anual de gerações que *T. notata* pode completar é de 6,8 a 7,1 (Chã Grande), 6,9 a 7,2 (Belo Jardim), 8,4 a 8,7 (Surubim) e 8,8 a 9,1 (Petrolina) predando *P. citri* e *F. dasyrillii*, respectivamente.

Aspectos Biológicos e Reprodutivos de *Tenuisvalvae notata*. A joaninha *T. notata* não se desenvolveu nas temperaturas de 16, 18 e 38 °C. Nas demais temperaturas avaliadas (20, 22, 25, 28 e 32 °C), o período de desenvolvimento de ovo a adulto de *T. notata*, alimentando-se de *F.*

dasyrillii e *P. citri*, foi inversamente correlacionado à temperatura, sendo menor o período de desenvolvimento com o aumento da temperatura. O período de incubação dos ovos diminuiu com o aumento das temperaturas variando de 10,1 dias a 20 °C e 4,2 dias a 32 °C, tendo como presa *F. dasyrillii* ($y = - 0,156 + 0,012x$; $r^2 = 0,969$; $P < 0,0001$). Resultados semelhantes foram observados quando as joaninhas foram alimentadas com *P. citri*, variando de 11,3 a 4,36 dias de 20 a 32 °C, respectivamente ($y = - 0,157 + 0,013x$; $r^2 = 0,953$; $P < 0,0001$). Por outro lado, só houve diferença no período de incubação de ovos entre os tipos de presas nas temperaturas de 20 e 22 °C. O período de desenvolvimento larval (I-IV instar) de *T. notata*, também, sofreu efeito significativo da temperatura independentemente do tipo de presa. A medida que aumentou a temperatura houve um decréscimo no período larval, o qual variou de 8,9 a 3,6 dias ($y = - 0,169 + 0,015x$; $r^2 = 0,958$; $P < 0,0001$) tendo como presa *F. dasyrillii*, e de 9,9 a 3,9 dias ($y = - 0,154 + 0,014x$; $r^2 = 0,955$; $P < 0,0001$) quando a presa foi *P. citri*, de 20 a 32 °C. De forma semelhante, o tipo de presa afetou a duração larval em todas as temperaturas.

O período pupal também reduziu com o aumento da temperatura de 20 a 32 °C, independentemente do tipo de presa. Nesse gradiente de temperatura, o período pupal variou de 23,5 a 9,5 dias quando a presa foi *F. dasyrillii* ($y = - 0,072 + 0,006x$; $r^2 = 0,956$; $P < 0,0001$), e de 22,7 a 8,6 dias quando a presa foi *P. citri* ($y = - 0,085 + 0,006x$; $r^2 = 0,956$; $P < 0,0001$). Comparando-se o efeito de presas, houve efeito no período pupal apenas nas temperaturas mais extremas de 20 °C ($F_{1, 58} = 4,26$; $P = 0,043$) e 32 °C ($F_{1, 58} = 8,55$; $P = 0,0049$).

A duração do período de ovo a adulto de *T. notata* foi variável em função da temperatura, independente da presa ofertada. Quando alimentada com *F. dasyrillii* a duração de ovo-adulto variou de 69,2 a 28,0 dias nas temperaturas de 20 e 32 °C, respectivamente ($y = 0,002 - 0,023x$; $r^2 = 0,968$; $P < 0,0001$). Àquelas alimentadas com *P. citri* apresentaram período de ovo a adulto variando em média de 73,9 a 28,7 dias nas temperaturas de 20 e 32 °C, respectivamente ($y =$

0,002 - 0,023x; $r^2 = 0,963$; $P < 0,0001$). Houve efeito de presa na duração de ovo a adulto nas temperaturas de 20, 22 e 25 °C, sendo que o tempo médio de desenvolvimento foi maior para joaninhas alimentadas com *P. citri*. Por outro lado, não houve efeito de presa na duração do desenvolvimento de ovo a adulto nas temperaturas 28 e 32 °C.

O período de pré-oviposição diminuiu com o aumento da temperatura para fêmeas alimentadas com *P. citri* ($F_{4, 45} = 3,67$; $P = 0,0114$), porém não diferiu para fêmeas alimentadas com *F. dasyrillii* ($F_{4, 45} = 1,62$; $P = 0,1856$). A fecundidade média de *T. notata* durante 60 dias contínuos apresentou diferença em função das temperaturas, independentemente do tipo de presa ($P < 0,0001$) (Tabela 2, Fig. 2). Fêmeas alimentadas com *F. dasyrillii* apresentaram fecundidade média variando de 5,2 a 442,5 ovos/fêmea, podendo observar similaridade de oviposição nas temperaturas 20 e 32 °C, as quais foram menores, bem como para fêmeas alimentadas com *P. citri*, que apresentaram fecundidade média variando de 13,7 a 196,8 ovos/fêmea. Entre as duas presas houve diferença de oviposição a 28 °C ($F_{1, 18} = 30,97$; $P < 0,0001$), com maior número de ovos por fêmeas alimentadas com *P. citri* (Tabela 2, Fig. 2). Similarmente, a viabilidade dos ovos das fêmeas de *T. notata* alimentadas com *F. dasyrillii* e *P. citri* variou em função da temperatura ($P < 0,0001$). Não houve diferença na viabilidade comparando-se as duas presas (Tabela 2).

A sobrevivência de *T. notata* não sofreu efeito significativo da temperatura para fêmeas alimentadas com *F. dasyrillii* (teste de Log-Rank; $\chi^2 = 7,46$; gl = 4; $P = 0,1131$). Entretanto, houve variações para fêmeas alimentadas com *P. citri* (teste de Log-Rank; $\chi^2 = 12,52$; $P = 0,0139$) (Fig. 3). A razão sexual de *T. notata* quando alimentada com *P. citri* não apresentou diferença em função das temperaturas ($\chi^2 = 0,0238$; gl = 4; $P = 0,09$), assim como *T. notata* alimentada com *F. dasyrillii* ($\chi^2 = 0,0278$; gl = 4; $P = 0,09$). Da mesma forma não houve diferença na razão sexual de *T. notata* alimentadas com *P. citri* e *F. dasyrillii* nas diferentes temperaturas avaliadas.

Taxa de Predação de *T. notata* em Função da Temperatura. Houve um aumento significativo na taxa de predação por larvas e adultos de *T. notata* sobre as cochonilhas *F. dasyrillii* e *P. citri*, em função do aumento da temperatura ($P < 0,0001$) (Tabela 2). Para larvas de terceiro instar de *T. notata*, o consumo médio diário foi de 1,7 a 2,9 *F. dasyrillii*. Já para larvas de quarto instar, o consumo médio diário variou de 1,4 a 2,7, e para os adultos variou de 1,2 a 2,7, de 20 a 32 °C. De forma semelhante, larvas de terceiro instar de *T. notata* apresentaram consumo médio diário sobre *P. citri* variando de 2,0 a 3,7 enquanto larvas de quarto instar consumiram uma média de 1,9 a 3,1. Por fim, os adultos consumiram uma média diária de 1,9 a 3,4 cochonilhas *P. citri*, entre 20 a 32 °C (Tabela 2).

No geral, comparando-se as duas espécies de cochonilhas, tanto larvas quanto os adultos de *T. notata* predaram mais *P. citri* nas diferentes temperaturas ($P < 0,0001$) (Tabela 2). Para larvas de terceiro instar de *T. notata*, o consumo de *P. citri* foi significativamente maior nas temperaturas de 20, 28 e 32 °C, enquanto que para larvas de quarto instar a diferença ocorreu apenas nas temperaturas de 20 e 32 °C. Para adultos, o consumo de *P. citri* foi superior em todas as temperaturas avaliadas (Tabela 2).

Discussão

As condições ambientais, em especial, a temperatura, tipo e disponibilidade de recurso são fatores importantes que podem afetar tanto o desenvolvimento quanto o estabelecimento de espécies em um determinado local (Hodek & Honek 1996, Ju *et al.* 2011, Sabaghi *et al.* 2011). Tratando-se de inimigos naturais, como joaninhas predadoras, essas poderão ter ou não sucesso no seu estabelecimento no ambiente e, conseqüentemente afetar diretamente os resultados de um programa de controle biológico. Dessa forma, o estudo de um inimigo natural nativo com potencial é de suma importância, devido ao fato que tal espécie já está adaptada às condições

locais onde a praga se encontra também estabelecida. Além disso, possui menores riscos de efeitos não desejáveis nas interações com outras espécies locais a partir da introdução (Bahlai *et al.* 2015).

O modelo não linear Brière usado nesse estudo avaliou a relação entre a taxa de desenvolvimento e a temperatura, e nesse caso estimou uma T_b (14,5 °C) abaixo da temperatura mínima (20 °C), onde ocorreu eclosão e desenvolvimento de *T. notata*, em laboratório. Esses resultados estão de acordo com Morales-Ramos & Rojas (2017) que obtiveram o limiar de desenvolvimento para a joaninha *Coleomegilla maculata* (DeGeer) de 13 °C, além de Saeedi *et al.* (2015) que calcularam uma T_b de 11,5 °C para a joaninha *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant. Enquanto que Pachú *et al.* (2018) estimaram através do modelo de Brière a temperatura mínima de aproximadamente 16 °C para *Cycloneda sanguinea* (L.) e Stathas *et al.* (2011) determinaram 11 °C para a *Harmonia axyridis* (Pallas).

Além da T_b , as temperaturas ótima, máxima e mínima juntamente com os respectivos intervalos de confiança podem ser usados como um indicador para a distribuição geográfica e local de origem das espécies (Kocmankova *et al.* 2010, Fand *et al.* 2014). Interessantemente, para *T. notata* observou-se que as temperaturas máxima e média estimadas nas duas presas (36,4 e 36,5 °C) foram superiores àquelas onde ocorreu desenvolvimento, sobrevivência e reprodução dessa espécie, em laboratório sob condição constante (32 °C). Além disso, em testes complementares que conduzimos para avaliar a taxa de eclosão de ovos, sobrevivência e reprodução de adultos de *T. notata* nas temperaturas de 33, 34, 35 e 36 °C, encontramos uma viabilidade de 100% dos ovos até 34 °C. Entretanto, as larvas não sobrevivem até a fase de pupa, e quando os adultos foram expostos a essas mesmas condições, morreram com aproximadamente 7 dias e não reproduziram.

É provável que o melhor desenvolvimento e reprodução de *T. notata* ocorra em uma faixa de temperatura mais estreita entre 20 a 32 °C, dependendo da origem da população, pois é possível

que ocorra aclimação de populações de insetos a temperaturas mais extremas, ao longo de gerações, promovendo o estabelecimento desses insetos em condições ambientais diferentes da ótima, mínima e máxima estimadas por modelos matemáticos. Estudos anteriores desenvolvidos por Dreyer *et al.* (1997b), mostraram o desenvolvimento de *Hyperaspis* (= *Tenuisvalvae*) *notata* em temperaturas variando de 18 a 34 °C. Entretanto, nosso estudo é o primeiro relato da Tb e K para *T. notata*. Assim, é possível que as diferenças observadas entre os nossos resultados e os previamente relatados para *T. notata* seja um reflexo das diferenças entre populações estudadas, e possivelmente um efeito de aclimação às condições mais extremas de temperaturas onde as populações foram originadas (ex. Semiárido Pernambucano x Sul do Brasil).

Em relação a duração do ciclo ovo a adulto de *T. notata*, o resultado foi o esperado, todas as fases de desenvolvimento, ovo, larva (I-IV) e pupa de *T. notata* tiveram uma aceleração do ciclo devido ao aumento da temperatura de 20 a 32 °C. Similarmente, Dreyer *et al.* (1997b) mostraram que o desenvolvimento de *T. notata* reduziu aproximadamente de 90 para 21 dias quando criadas a 18 e a 32 °C, respectivamente. Assim, podemos prever que em condições de temperaturas mais altas (em média 32 °C), *T. notata* teria um maior número de gerações por ano e, conseqüentemente, um crescimento populacional mais rápido em comparação a locais de temperaturas mais amenas (18-20 °C). Isso é positivo do ponto de vista do controle biológico, pois a praga alvo (cochonilhas) também apresenta uma alta taxa reprodutiva e encurtamento do ciclo em condições de temperaturas mais elevadas, requerendo um predador com potencial de acompanhar esse crescimento populacional para efetivar o controle da mesma. Por outro lado, para populações de *T. notata* não aclimatadas às condições de temperaturas superior a 32 °C, isso seria deletério, pois haveria um declínio na viabilidade de ovos, sobrevivência das larvas e adultos, bem como na fecundidade desses, havendo assim um declínio populacional do predador ao invés de aumento. Para as condições do Semiárido Pernambucano, com média variando de 26° C a 27,5 °C (APAC 2019),

essa espécie é um predador potencial de cochonilhas farinhentas, por estar adaptado às condições locais e completar de 6,8 a 9,1 gerações por ano. Condições similares a ocorrida na África com a introdução de *T. notata* para o controle da cochonilha da mandioca, *P. manihoti* (Herren & Neuenschawabder 1991, Chakupurakal *et al.* 1994).

Embora o efeito dos alimentos nas exigências térmicas das joaninhas não ser bem descrito na literatura, este resultado sugere que a qualidade das presas afeta o tempo total de desenvolvimento do predador. Barbosa *et al.* (2014b) ofertaram a cochonilha *F. dasyrillii*, a cochonilha-do-carmim, *Dactylopius opuntiae* Cockerell, e ovos de *Anagasta kuehniella* Zeller como presas para *T. notata*, demonstrando que dentre elas, *T. notata* completa o desenvolvimento apenas sobre *F. dasyrillii*, demonstrando sua preferência alimentar por Pseudococcidae. Também observamos maior taxa de predação de *P. citri* em relação a *F. dasyrillii* e isto pode estar relacionado com a maior produção do “honeydew” por *P. citri* em comparação a *F. dasyrillii* e defesa entre as presas. Há relatos de coccinelídeos alimentando-se da excreção açucarada da sua presa (Hagen 1962). Por exemplo, Carter & Dixon (1984) observaram que as larvas de *Coccinella septempunctata* (L.) passaram mais tempo em plantas com vestígios de “honeydew” do que àquelas sem o vestígio, o que pode aumentar o contato do predador com a presa. Além disso, *F. dasyrillii* produz densa secreção de cera sobre o corpo. Larvas de *Chrysoperla externa* (Hagen) tiveram o aparelho bucal bloqueado pela cerosidade e secreções abdominais de *F. dasyrillii* quando predando fêmeas adultas desta cochonilha (Tapajós *et al.* 2016). Portanto, ambos os fatores, temperatura e presa, devem ser considerados no desenvolvimento de programas de biocontrole.

Quanto a razão sexual de *T. notata*, esta não foi afetada pelo tipo de presa nem pela variação da temperatura. Resultados semelhantes foram observados por Satar & Uygun (2012) que encontraram uma razão sexual similar, em todas as temperaturas avaliadas, da joaninha *S. subvillosus* alimentando-se de *Aphis gossypii* Glover. Além disso, outros estudos com joaninhas

coccidófagas revelaram que a razão sexual normalmente não é afetada pelo alimento consumido (Omkar *et al.* 2010, Yazdani & Zarabi 2011, Sayed & El Arnaouty 2016).

A melhor resposta em termos de oviposição foi registrada na temperatura constante de 28 °C, como nos resultados apresentados por Singh *et al.* (2018) para a joaninha *Menochilus sexmaculatus* (Fab.). Em insetos ocorre um balanço entre a reprodução e a sobrevivência, chamado de “trade-off”, ou seja, os indivíduos que investem mais em reprodução geralmente têm uma redução na longevidade, devido ao alto custo energético dedicado a reprodução (Mirhosseini *et al.* 2014). Entretanto, comparando os resultados de oviposição e longevidade das fêmeas de *T. notata* nas temperaturas 25 e 28 °C houve maior fecundidade e maior proporção de fêmeas sobreviventes. Isso pode ocorrer porque o coccinelídeo *T. notata* possui longa fase adulta e as fêmeas após uma única cópula continuam depositando ovos férteis por um período de até 60 dias (Túler *et al.* 2017), além das presas serem inadequadas. Portanto, as fêmeas de *T. notata* também devem investir na sobrevivência para garantir a reprodução, mesmo que se copulem apenas uma vez. Caso tenham alimento disponível, múltiplas cópulas e as condições ideais de temperatura, as fêmeas de *T. notata* irão sobreviver e reproduzir por um longo período naquele ambiente (Dreyer *et al.* 1997a, Túler *et al.* 2017), o que é benéfico para o controle biológico.

Estudos mostraram que a resposta dos organismos ao estresse térmico é afetada tanto pela intensidade da temperatura quanto pela duração da exposição (Nguyen *et al.* 2013, Walsh *et al.* 2019). Portanto, a redução da fecundidade e viabilidade dos ovos de *T. notata* em temperaturas extremas pode ocorrer devido ao macho ser mais sensível ao estresse térmico, apresentando aumento da mortalidade dos espermatozoides ou afetando o processo da espermatogênese (Ponsonby & Copland 1998). Além disso, ondas de calor reduzem o número de espermatozoides e a viabilidade dos mesmos, comprometendo a sua capacidade de alcançar a espermateca das fêmeas para subsequente fertilização dos óvulos (Sales *et al.* 2018). Sales *et al.* (2018) mostraram como as

ondas de calor afetam o sistema reprodutivo dos insetos, utilizando o besouro *Tribolium castaneum* (Herbst). Este estudo mostrou que em condições de calor, 5 a 7 °C acima do ideal durante 5 dias, danificam o potencial reprodutivo do macho, enquanto que as fêmeas não são afetadas. Entretanto, as fêmeas acasaladas com os machos expostos à onda de calor reduziram o número de ovos por um terço e, apenas, 40% desses ovos eclodiram.

O comportamento predatório pode ser dependente da temperatura em organismos ectotérmicos devido a capacidade de locomoção variar com a temperatura. Quando ambos o predador e a presa são ectotérmicos, os movimentos de ataque e escape são comumente fracassados em temperaturas baixas (Dell *et al.* 2011). Portanto as taxas de alimentação exibem uma dependência da temperatura similar às taxas metabólicas (Brown *et al.* 2004). Em *T. notata* houve um incremento do consumo de presas com o aumento da temperatura, independentemente do tipo de presa disponível. Esses resultados sugerem que a taxa de consumo diário de larvas e adultos de coccinelídeos aumentam com o aquecimento, provavelmente por um aumento do metabolismo resultante da aceleração do ciclo de desenvolvimento. Além disso, houve também maior taxa de consumo para larvas de IV instar, em relação aos adultos. O maior consumo por larvas de quarto instar é consistente com os resultados de estudos com outras espécies de joaninhas, como *Coccinella undecimpunctata* L. (Cabral *et al.* 2009), *C. montrouzieri* (Kaur & Virk 2012), *Harmonia dimidiata* (Fab.) (Yu *et al.* 2013) e *Hyperaspis polita* Weise (Farhadi *et al.* 2017). Isso pode ser devido à necessidade de alimento e energia durante o crescimento nesta idade larval, a fim de atingir peso crítico para a pupação (Hodek *et al.* 2012). Similarmente, Alloush (2019) relataram aumento da taxa do consumo com o acréscimo da temperatura, onde larvas do coccinelídeo *Rhyzobius lophanthae* (Blaisdell) consumiram 24,3 e 33,5 adultos da cochonilha *Aspidiotus nerii* Bouché à 25 e 30 °C, respectivamente.

Dessa forma, podemos concluir que *T. notata* é um predador importante de cochonilhas farinhentas tanto na fase larval quanto adulta, e que pode contribuir de forma significativa para o controle biológico aplicado dessa praga em ambientes de faixa de temperatura variando de 20 a 32 °C, onde seu desenvolvimento, reprodução e predação são favorecidos. Por outro lado, para regiões onde as médias de temperatura estão abaixo ou acima dessa faixa ideal, impõem riscos ao estabelecimento e sucesso de *T. notata* no controle de cochonilhas como observado para a viabilidade de ovos, desenvolvimento larval, reprodução e sobrevivência dos adultos a temperaturas acima de 33 °C. Contudo, populações nativas de *T. notata* podem ser encontradas em localidades fora desta faixa ideal, possivelmente devido estarem aclimatadas a essas condições.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado. Ao Dr. José Romário Carvalho, CAUFES, pelo auxílio no uso do modelo de Brière para determinado do requerimento térmico.

Literatura Citada

- Alloush, A.H.A. 2019.** Developmental duration and predation rate of the coccidophagous coccinellid *Rhyzobius lophanthae* (Blaisdell) (Coleoptera: Coccinellidae) on *Aspidiotus nerii* Bouche. Bull. Entomol. Res. 8: 1–5.
- APAC. 2019 (Agência Pernambucana de Águas e Clima).** Disponível em: <<http://apac.pe.gov.br/meteorologia/estacoes-do-ano.php?estacao=verão>>. Acesso em 18/02/2019.
- Bahlai, C.A., M. Colunga-Garcia, S.H. Gage & D.A. Landis. 2015.** The role of exotic ladybeetles in the decline of native ladybeetle populations: evidence from long-term monitoring. Biol. Invasions 17: 1005–1024.
- Barbosa, P.R.R., M.D. Oliveira, J.A. Giorgi, C.S.A. Silva-Torres & J.B. Torres. 2014a.** Predatory behavior and life history of the lady beetle *Tenuisvalvae notata* (Coleoptera: Coccinellidae) under variable prey availability conditions. Fla. Entomol. 97: 1026–1034.

- Barbosa, P.R.R., M.D. Oliveira, J.A. Giorgi, J.E.M. Oliveira & J.B. Torres. 2014b.** Suitability of two prey species for development, reproduction, and survival of *Tenuisvalvae notata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 107: 1102–1109.
- Brown, J. H., J.F. Gillooly, A.P. Allen, V.M. Savage & G.B. West. 2004.** Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology* 85: 1771–1789.
- Cabral, S. A.O. Soares & P. Garcia. 2009.** Predation by *Coccinella undecimpunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae) on *Myzus persicae* Sulzer (Homoptera: Aphididae): effect of prey density. *Biol. Control* 50: 25–29.
- Campbell, A., B.D. Frazer, N. Gilbert, A.P. Gutierrez & M. Mackauer. 1974.** Temperature requirements of some aphids and their parasites. *J. Appl. Ecol.* 11: 431–438.
- Carter, M.C. & Dixon A.F.G. 1984.** Foraging behaviour of coccinellid larvae: duration of intensive search. *Entomol. Exp. Appl.* 36: 133–136.
- Chakupurakal, J., R. H. Markham, P. Neuenschwander, M. Sakala, C. Malambo, D. Mulwanda, E. Banda, A. Chalabesa, T. Bird & T. Haug. 1994.** Biological control of the cassava mealybug, *Phenacoccus manihoti* (Homoptera: Pseudococcidae), in Zambia. *Biol. Control* 4: 254–262.
- Codling, A. 1977.** Biological control of mealybug. *Natl. Cact. Succul. J.* 32: 36–38.
- Colares, F., J.P. Michaud, J.B. Torres & C.S.A. Silva-Torres. 2015.** Polyandry and male mating history affect the reproductive performance of *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 108: 736–742.
- Davis, P.M., N. Brenes, L.L. Allee. 1996.** Temperature dependent models to predict regional differences in corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) phenology. *Environ. Entomol.* 25: 767–775.
- Dell, A.I., S. Pawar & V.M. Savage. 2011.** Systematic variation in the temperature dependence of physiological and ecological traits. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 108: 10591–10596.
- Dell, A.I., S. Pawar & V.M. Savage. 2014.** Temperature dependence of trophic interactions are driven by asymmetry of species responses and foraging strategy. *J. Anim. Ecol.* 83: 70–84.
- Dreyer, B.S., P. Neuenschwander, J. Baumgärtner & S. Dorn. 1997a.** Trophic influences on survival, development and reproduction of *Hyperaspis notata* (Col., Coccinellidae). *J. Appl. Entomol.* 121: 249–256.
- Dreyer, B.S., P. Neuenschwander, B. Bouyjou, J. Baumgärtner & S. Dorn. 1997b.** The influence of temperature on the life table of *Hyperaspis notata*. *Entomol. Exp. Appl.* 84: 85–92.
- Estay S.A., M. Lima & F.A. Labra. 2009.** Predicting insect pest status under climate change scenarios: combining experimental data and population dynamics modelling. *J. Appl. Entomol.* 133: 491–499.

- Farhadi, Z., M. Esfandiari, M.S. Mossadegh & P. Shishehbor. 2017.** Prey stage preference and functional response of the coccinellid *Hyperaspis polita* Weise by feeding on the mealybug *Nipaecoccus viridis* (Newstead). *Pl. Pest Res.* 7: 63–78.
- Fand, B.B., H.E.Z. Tonnang, M. Kumar, S.K. Bal & N.P. Singh. 2014.** Predicting the impact of climate change on regional and seasonal abundance of the mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) using temperature driven phenology model linked to GIS. *Ecol. Model.* 288: 62–78.
- Freitas, S.P., W.S. Evangelista Júnior, J.C. Zanuncio & J.E. Serrão. 2006.** Development, survival and reproduction of *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Heteroptera: Pentatomidae) with salt and amino acids solutions supplementary diet. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 49: 449–455.
- Haddad M.L., J.R.P. Parra & R.C.B. Moraes. 1999.** Métodos para estimar os limites térmicos inferior and superior de desenvolvimento de insetos. FEALQ, Piracicaba, SP, Brazil, 29 p.
- Hagen, K.S. 1962.** Biology and ecology of predaceous Coccinellidae. *Annu. Rev. Entomol.* 7: 289–326.
- Hagen, K.S. 1987.** Nutritional ecology of terrestrial insect predators, p. 533–577. In F. Slansky & J.G. Rodriguez (eds.), *Nutritional ecology of insects, mites, spider and related invertebrates.* New York: John Wiley, 1016p.
- Herren, H.R. & P. Neuenschawander. 1991.** Biological control of cassava pests in Africa. *Annu. Rev. Entomol.* 36: 257–283.
- Hodek, L., H.F. Van Emden & A. Honek. 2012.** Ecology and behavior of ladybird beetles (Col.: Coccinellidae). Wiley-Blackwell, UK, 600p.
- Hodek, I. & A. Honek. 1996.** Ecology of Coccinellidae. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 480p.
- Iperti, G. 1999.** Biodiversity of predaceous Coccinellidae in relation to bioindication and economic importance. *Agric. Ecosyst. Environ.* 74: 323–342.
- Jalali, M.A., L. Tirry, A. Arbab & P. De Clercq. 2010.** Temperature-dependent development of the two-spotted ladybeetle, *Adalia bipunctata*, on the green peach aphid, *Myzus persicae*, and a factitious food under constant temperatures. *J. Insect Sci.* 10: 1536–2442.
- Ju, R.T., F. Wang & B. Li. 2011.** Effects of temperature on the development and population growth of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata*. *J Insect Sci.* 11: 16.
- Kang, L., B. Chen, J.N. Wei & T.X. Liu. 2009.** Roles of thermal adaptation and chemical ecology in *Liriomyza* distribution and control. *Annu. Rev. Entomol.* 54: 127–45.
- Kaur, H. & J.S. Virk. 2012.** Feeding potential of *Cryptolaemus montrouzieri* against the mealybug *Phenacoccus solenopsis*. *Phytoparasitica* 40: 131–136.

- Kocmankova, E., M. Trnka, J. Eitzinger, H. Formayer, M. Dubrovsk, D. Semeradova, Z. Zalud & J. Juroch. 2010.** Estimating the impact of climate change on the occurrence of selected pests in the central European region. *Clim. Res.* 44: 95–105.
- Kontodimas, D.C., P.A. Eliopoulos, G.J. Stathas & L.P. Economou. 2004.** Comparative temperature-dependent development of *Nephus includens* (Kirsch) and *Nephus bsignatus* (Boheman) (Coleoptera: Coccinellidae) preying on *Planococcus citri* (Risso) (Homoptera: Pseudococcidae): Evaluation of a linear and various nonlinear models using specific criteria. *Environ. Entomol.* 33: 1–11.
- Messenger, P.S. 1959.** Bioclimatic studies with insects. *Annu. Rev. Entomol.* 4: 183–206.
- Michaud J.P. & J.L. Jyoti. 2008.** Dietary complementation across life stages in the polyphagous lady beetle *Coleomegilla maculata*. *Entomol. Exp. Appl.* 126: 40–45.
- Mirhosseini, M.A., J.P. Michaud, M.A. Jalali & M. Ziaaddini. 2014.** Paternal effects correlate with female reproductivestimulation in the polyandrous ladybird *Cheilomenes sexmaculata*. *Bull. Entomol. Res.* 104: 480–485
- Morales-Ramos, J.A. & M.G. Rojas. 2017.** Temperature-dependent biological and demographic parameters of *Coleomegilla maculata* (Coleoptera: Coccinellidae). *J. Insect Sci.* 17: 1–9.
- Nguyen, T.M., C. Bressac & C. Chevrier. 2013.** Heat stress affects male reproduction in a parasitoid wasp. *J. Insect. Physiol.* 59: 248–254.
- Omkar, J. Sahu & G. Kumar. 2010.** Effect of prey quantity on reproductive and developmental attributes of a ladybird beetle *Anegleis cardoni*. *Int. J. Trop. Insect Sci.* 30: 48–56.
- Pacheco-da-Silva, V.C., M.B. Kaydan, C.A.S. Silva-Torres & J.B. Torres. 2019.** Mealybugs (Hemiptera: Coccoomorpha: Pseudococcidae) on soursop and sugar apple (Annonaceae) in northeast Brazil, whit description of a new species of *Pseudococcus* Westwood. *Zootaxa* (submitted).
- Pachú J.K.S., J.B. Malaquias, W.A.C. Godoy, F.S. Ramalho, B.R. Almeida & F. Rossi. 2018.** Models to describe the thermal development rates of *Cycloneda sanguinea* L. (Coleoptera: Coccinellidae). *J. Therm. Biol.* 73: 1–7.
- Parajulee, M.M. & T.W. Phillips. 1993.** Effects of prey species on development and reproduction of the predator *Lyctocoris campestris* (Heteroptera: Anthocoridae). *Environ. Entomol.* 22: 1035–1042.
- Peronti, A.L.B.G., N.M. Martinelli, J.G. Alexandrino, A.L. Marsaro Júnior, A.M. PenteadoDias & L.M. Almeida. 2016.** Natural enemies associated with *Maconellicoccus hirsutus* (Hemiptera: Pseudococcidae) in the state of São Paulo, Brazil. *Fla. Entomol.* 99: 21–25.
- Pervez, A., & S.S. Omkar. 2004.** Prey-dependent life attributes of an aphidophagous ladybird beetle, *Propylea dissecta* (Coleoptera: Coccinellidae). *Biocontrol Sci. Technol.* 14: 385–396.

- Ponsonby, D.J. & M.J.W. Copland. 1998.** Environmental influences on fecundity, egg viability and egg cannibalism in the scale insect predator, *Chilocorus nigritus*. *BioControl* 43: 39–52.
- R Core Team 2013.** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rebaudo, F., Q. Struelens & O. Dengles. 2018.** Modelling temperature-dependent development rate and phenology in arthropods: the devRate package for r. *Methods Ecol. Evol.* 9: 1144–1150.
- Sabaghi, R., A. Sahragard & R. Hosseini. 2011.** Functional and numerical responses of *Scymnus syriacus* Marseul (Coleoptera: Coccinellidae) to the black bean aphid, *Aphis fabae* Scopoli (Hemiptera: Aphididae) under laboratory conditions. *J. Pl. Prot. Res.* 51: 423–428.
- Saeedi, N., M.R. Damavandian & H.D. Moghanloo. 2015.** Effects of temperature on population growth parameters of *Cryptolaemus montrouzieri* (Coleoptera: Coccinellidae) reared on *Planococcus citri* (Homoptera: Pseudococcidae). *Arthropods* 4: 78–89.
- Sales, K., R. Vasudeva, M. E. Dickinson, J.L. Godwin, A.J. Lumley, L. Michalczyk, L. Hebberecht, P. Thomas, A. Franco & M.J.G. Gage. 2018.** Experimental heatwaves compromise sperm function and cause transgenerational damage in a model insect. *Nat. Commun.* 9: 4771.
- Sanches, N.F. & R.S. Carvalho. 2010.** Procedimentos para manejo da criação e multiplicação do predador exótico *Cryptolaemus montrouzieri*. Cruz das Almas, EMBRAPA, 5p. (Circular Técnica 99).
- Santana, S.W.J., R. Barros, J.B. Torres & M.G.C. Gondim Jr. 2010.** Exigências térmicas da praga do coqueiro *Atheloca subrufella* (Hulst) (Lepidoptera: Phycitidae). *Neotrop. Entomol.* 39: 181–186.
- SAS Institute. 2001.** SAS/STAT User's guide, version 8.02, TS level 2MO. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Satar, G. & N. Uygun. 2012.** The effects of various temperatures on development and fecundity of *Scymnus subvillosus* (Goeze) (Coleoptera: Coccinellidae) feeding on *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). *Türk biyo müc derg.* 3:169–182.
- Sayed, S.M. & S.A. El Arnauty. 2016.** Effect of corn pollens, as supplemental food, on development and reproduction of the predatory species, *Hippodamia variegata* (Goeze) (Coleoptera: Coccinellidae). *Egypt J. Biol. Pest Control.* 26: 457–461.
- Stathas, G.J. 2000.** The effect of temperature on the development of the predator *Rhyzobius lophanthae* and its phenology in Greece. *BioControl* 45: 439–451.
- Silva-Torres, C.S.A, M.D. Oliveira & J.B. Torres. 2013.** Host selection and establishment of striped mealybug, *Ferrisia virgata*, on cotton cultivars. *Phytoparasitica* 41: 31–40.

- Singh, S., G. Mishra & Omkar. 2018.** Plasticity in reproductive output and development in response to thermal variation in ladybird beetle, *Menochilus sexmaculatus*, J. Therm. Biol. 71: 180–188.
- Solangi, G.S., F. Karamaouna, D. Kontodimas, P. Milonas, M.K. Lohar, G.H. Abro & R. Mahmood. 2013.** Effect of high temperatures on survival and longevity of the predator *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant. Phytoparasitica 41: 213–219.
- Sugawara, R., S.U. Mohammad, H. Chyi-Chen & G. Tetsuo. 2018.** Impact of temperature-mediated functional responses of *Neoseiulus womersleyi* and *N. longispinosus* (Acari: Phytoseiidae) on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). Biol. Control 126: 26–35.
- Tapajos, S.J., R. Lira, C.S.A. Silva-Torres, J.B. Torres & R.L.C. Coitinho. 2016.** Suitability of two exotic mealybug species as prey to indigenous lacewing species. Biol. Control 96: 93–100.
- Trudgill, D.L., A.D.L.I. HoneK & N.V. Straalen. 2005.** Thermal time–concepts and utility. Ann. Appl. Biol. 146: 1–14.
- Túler, A.C., C.S.A. Silva-Torres, J.B. Torres, R.B. Moraes & A.R.S. Rodrigues. 2017.** Mating system, age, and reproductive performance in *Tenuisvalvae notata*, a long-lived ladybird beetle. Bull. Entomol. 108: 616–624.
- Vucic-Pestic, O., R.B. Ehnes, B.C. Rall & U. Brose. 2011.** Warming up the system: higher predator feeding rates but lower energetic efficiencies. Glob Change Biol. 17: 1301–1310.
- Yazdani, M. & M. Zarabi. 2011.** The effect of diet on longevity, fecundity, and the sex ratio of *Clitostethus arcuatus* (Rossi) (Coleoptera: Coccinellidae). J. Asia-Pac. Entomol. 14: 349–352.
- Yu, J.Z., H. Chi & B. Chen. 2013.** Comparison of the life tables and predation rates of *Harmonia dimidiata* (F.) (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) at different temperatures. Biol. Control 64:1–9.
- Walsh, B.S., S. R. Parratt, A.A. Hoffmann, D. Atkinson, R.R. Snook, A. Bretman & T.A.R. Price. 2019.** The impact of climate change on fertility. Trends Ecol. Evol. (in press).
- Wigglesworth, V.B. 1953.** The principles of insect physiology, London, UK, Methuen. 546p.

Tabela 1. Valores dos coeficientes e parâmetros ajustados do modelo linear e Brière1 que melhor descrevem o desenvolvimento de *Tenuisvalvae notata* predando *Ferrisia dasyrillii* ou *Planococcus citri* em função da temperatura.

Modelos/Presas	Parâmetros	Estimativa (\pm EP)	Modelos	Parâmetros	Estimativa (\pm EP)
<i>Ferrisia dasyrillii</i>					
Linear ¹ (Campbell)			Brière1 ³		
	α	$-0,02276 \pm 0,00945$		$a (10^{-5})$	$3,04 \pm 1,03$
	β	$0,00192 \pm 0,00036$		T_0	$14,5 \pm 2,32$
	Tb	$11,8 \pm 0,40$ (11,4 – 12,2) ²		T_{max}	$36,4 \pm 2,29$
	K	$520,8 \pm 99,3$ (421,5-620,1) ²		T_{ot}	31,0
<i>Planococcus citri</i>					
Linear ¹ (Campbell)			Brière1 ³		
	α	$-0,02282 \pm 0,00869$		$a (10^{-5})$	$3,65 \pm 1,07$
	β	$0,00189 \pm 0,00033722$		T_0	$14,5 \pm 2,42$
	Tb	$12,1 \pm 0,37$ (11,7-12,4) ²		T_{max}	$36,5 \pm 2,54$
	K	$529,1 \pm 94,4$ (434,6 – 623,5) ²		T_{ot}	31,1

¹ α and β = intercepto e coeficiente linear da regressão. Tb = temperatura limiar de desenvolvimento, e K = constante térmica.

²Intervalo de confiança a 95% de probabilidade.

³ T_0 , T_{max} e T_{ot} são respectivamente temperatura limiar de desenvolvimento, temperatura máxima de desenvolvimento, e temperatura ótima de desenvolvimento; enquanto a é o coeficiente determinado do modelo Briere1 = $aT (T - T_0) (T_{max} - T)^{1/2}$ melhor ajustado aos dados.

Tabela 2. Características das fêmeas de *Tenuisvalvae notata* expostos à diferentes temperaturas (°C) e alimentadas com *Ferrisia dasyrillii* e *Planacoccus citri*, durante 60 dias da fase adulta.

Presas	Temperaturas (°C) ¹					F _(gl) ^P
	20	22	25	28	32	
Período de pré-oviposição (dias)						
<i>F. dasyrillii</i>	5,6 ± 2,41 a ¹	2,8 ± 0,41 a	2,2 ± 0,51 Aa	1,3 ± 0,21 a	3,5 ± 1,35 a	F _{4,45} = 1,62 ^{0,1856}
<i>P. citri</i>	11,8 ± 3,43 a	4,7 ± 0,80 a	1,5 ± 0,22 Ab	1,7 ± 0,49 b	6,1 ± 3,36 ab	F _{4,45} = 3,67 ^{0,0114}
<i>F</i> _(gl= 1, 18)	2,18	0,41	1,57	0,55	0,51	
<i>P</i>	0,1567	0,0501	0,2263	0,4680	0,4829	
Fecundidade						
<i>F. dasyrillii</i>	8,1 ± 3,00 c	60,4 ± 13,40 bc	145,0 ± 28,87 b	442,5 ± 37,88 Aa	5,20 ± 1,86 c	F _{4,45} = 67,59 ^{<0,0001}
<i>P. citri</i>	15,5 ± 4,58 c	44,3 ± 8,48 c	115,7 ± 11,36 b	196,8 ± 22,66 Ba	13,7 ± 6,07 c	F _{4,45} = 39,97 ^{<0,0001}
<i>F</i> _(gl= 1, 18)	1,79	1,03	0,89	30,97	1,79	
<i>P</i>	0,1977	0,3145	0,3576	0,0001	0,1979	
Viabilidade de ovos						
<i>F. dasyrillii</i>	16,2 ± 8,33 b	84,6 ± 5,83 a	75,2 ± 4,18 a	79,9 ± 1,25 a	34,2 ± 12,05 b	F _{4,45} = 17,74 ^{<0,0001}
<i>P. citri</i>	23,4 ± 5,94 b	91,1 ± 2,28 a	75,4 ± 5,94 a	77,5 ± 4,38 a	20,4 ± 7,75 b	F _{4,45} = 35,34 ^{<0,0001}
<i>F</i> _(gl= 1, 18)	0,49	1,07	0,00	0,27	0,92	
<i>P</i>	0,4911	0,3145	0,9821	0,6110	0,3496	

¹Médias seguidas de mesma letras maiúsculas quando presentes representam diferença significativa entre as diferentes presas na coluna, enquanto letras minúsculas entre diferentes temperaturas na linha ($\alpha = 0,05$).

Tabela 3. Número médio diário de presas consumidas (\pm SEM) por larvas e adultos de *Tenuisvalvae notata* predando adultos de *Ferrisia dasyrillii* ou *Planacoccus citri* em diferentes temperaturas ($^{\circ}$ C).

Estágios / Presas	20	22	25	28	32	$F_{(gl=1, 120)}^P$
Larva III						
<i>F. dasyrillii</i>	1,7 \pm 0,08 Bc ¹	2,3 \pm 0,11 b	2,2 \pm 0,10 b	2,5 \pm 0,16 Bab	2,9 \pm 0,14 Ba	12,87 <0,0001
<i>P. citri</i>	1,9 \pm 0,08 Ac	2,6 \pm 0,14 b	2,4 \pm 0,14 bc	3,4 \pm 0,16 Aa	3,6 \pm 0,18 Aa	23,16 <0,0001
$F_{(gl=1, 48)}$	5,42	3,13	1,29	17,36	8,78	
P	0,0242	0,0832	0,2618	<0,0001	0,0047	
Larva IV						
<i>F. dasyrillii</i>	1,4 \pm 0,06 Bb	2,4 \pm 0,09 a	2,3 \pm 0,09 a	2,5 \pm 0,08 a	2,7 \pm 0,09 Ba	33,89 <0,0001
<i>P. citri</i>	1,9 \pm 0,06 Ad	2,2 \pm 0,09 cd	2,3 \pm 0,11 cb	2,6 \pm 0,08 b	3,1 \pm 0,07 Aa	25,73 <0,0001
$F_{(gl=1, 48)}$	31,31	2,04	0,05	0,13	12,59	
P	<0,0001	0,1593	0,8188	0,7170	0,0009	
Adulto						
<i>F. dasyrillii</i>	1,3 \pm 0,11 Bc	1,2 \pm 0,04 Bc	1,5 \pm 0,09 Bcb	1,8 \pm 0,09 Bb	2,7 \pm 0,11 Ba	40,61 <0,0001
<i>P. citri</i>	1,9 \pm 0,12 Acb	1,6 \pm 0,06 Ac	2,2 \pm 0,11 Ab	3,4 \pm 0,22 Aa	3,3 \pm 0,13 Aa	34,63 <0,0001
$F_{(gl=1, 48)}$	13,03	26,29	18,87	45,44	9,56	
P	0,0007	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0033	
Larva III – Adulto						
<i>F. dasyrillii</i>	1,4 \pm 0,05 Bd	2,0 \pm 0,05 Bc	2,0 \pm 0,06 Bcb	2,2 \pm 0,06 Bb	2,7 \pm 0,08 Ba	58,72 <0,0001
<i>P. citri</i>	1,9 \pm 0,06 Ac	2,0 \pm 0,04 Acb	2,3 \pm 0,07 Ab	3,1 \pm 0,12 Aa	3,3 \pm 0,07 Aa	60,08 <0,0001
$F_{(gl=1, 48)}$	37,52	4,31	9,48	47,82	23,38	
P	<0,0001	0,0432	0,0034	<0,0001	<0,0001	

¹Médias seguidas de mesma letras maiúsculas quando presentem representam diferença significativa entre as diferentes presas na coluna, enquanto letras minúsculas entre diferentes temperaturas na linha ($\alpha = 0,05$).

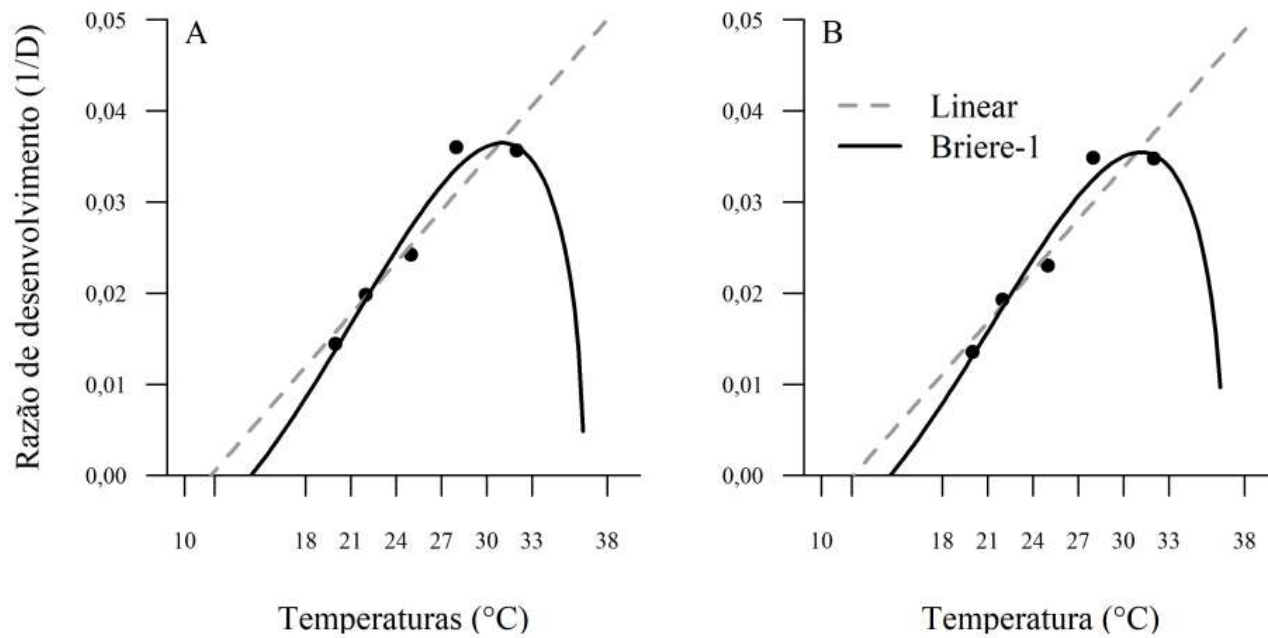


Figura 1. Modelo fenológico ajustado para a taxa de desenvolvimento (1/D) do ciclo ovo-adulto de *Tenuisvalvae notata* alimentada com as cochonilhas *Ferrisia dasytirri* (A) ou *Planococcus citri* (B) em função da temperatura. Símbolos fechados referem-se a valores observados.

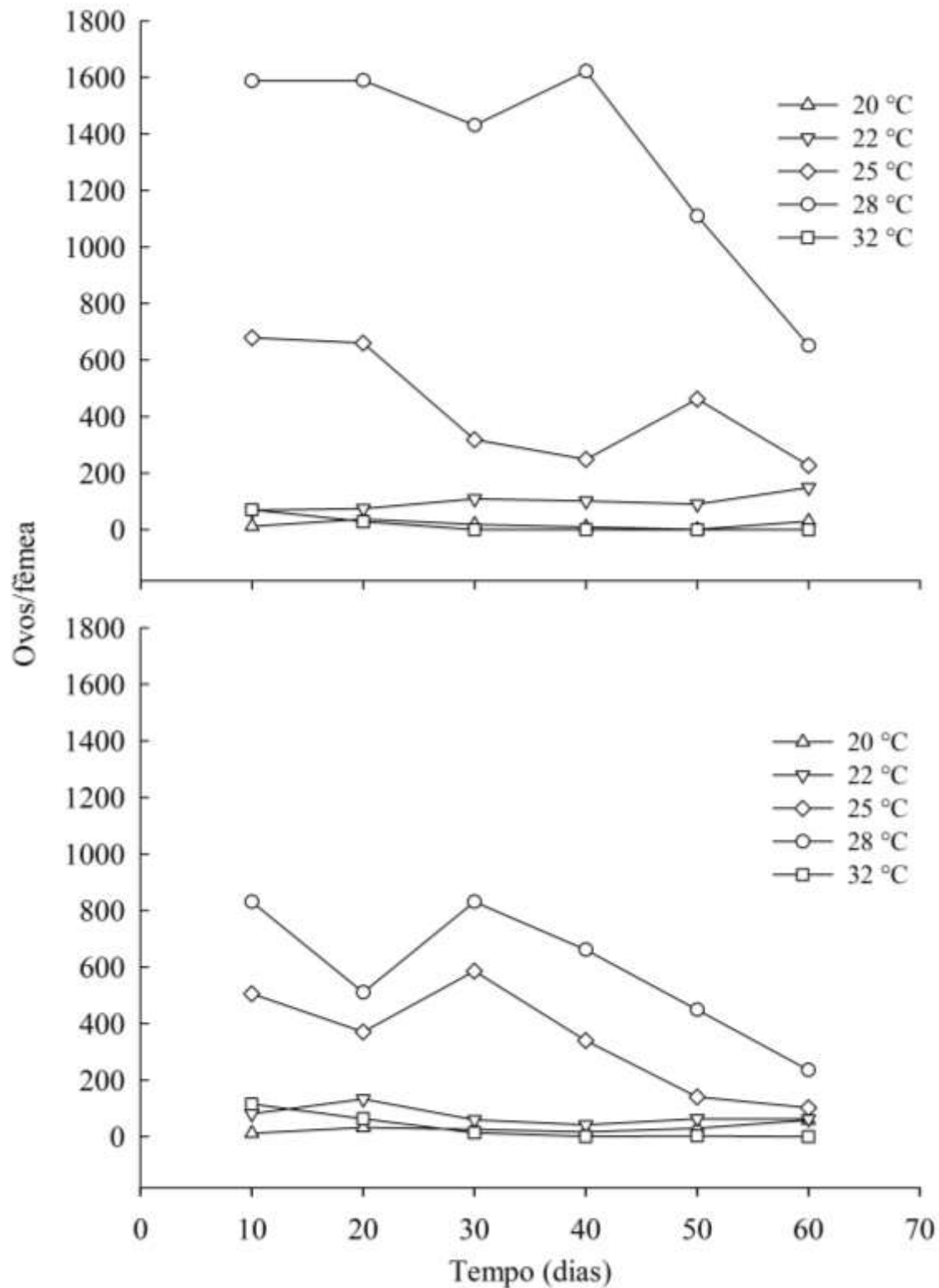


Figura 2. Curvas de oviposição de fêmeas de *Tenuisvalvae notata* alimentadas com as cochonilhas *Ferrisia dasylirri* (A) ou *Planococcus citri* (B) e submetidas a diferentes temperaturas.

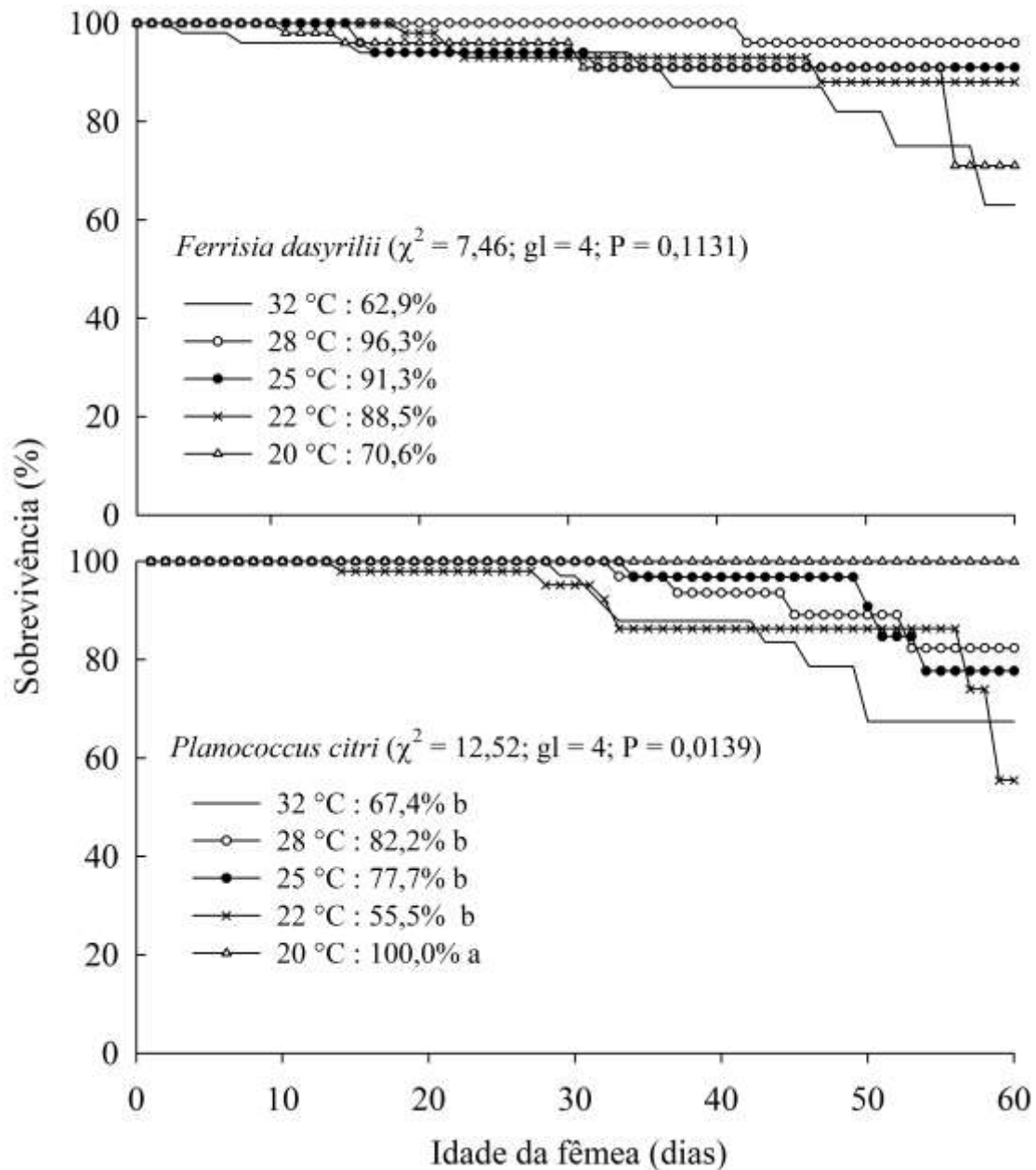


Figura 3. Sobrevivência de fêmeas de *Tenuisvalvae notata* alimentadas com as cochonilhas *Ferrisia dasyrillii* ou *Planococcus citri* e submetidas a diferentes temperaturas. Curvas de sobrevivência estimadas pelo método de Kaplan-Meier e comparadas pelo teste de Log-Rank ($\alpha = 0,05$). Nota: Sobrevivência média (\pm EP) no período até 60 dias de observação.

CAPÍTULO 3

AJUSTE CLIMÁTICO DA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DAS JOANINHAS

Tenuisvalvae notata (MULSANT) e *Cryptolaemus montrouzieri* MULSANT (COLEOPTERA: COCCINELLIDAE)¹

LARISSA F. FERREIRA¹

¹Departamento de Agronomia, Fitossanidade – Entomologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-900, Recife, Pernambuco, Brasil.

¹Ferreira, L.F. Ajuste climático da distribuição geográfica das joaninhas *Tenuisvalvae notata* (Mulsant) e *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae). A ser submetido.

RESUMO - *Tenuisvalvae notata* (Mulsant) e *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant são joaninhas com diferentes regiões de origem, embora ambas são predadoras especializadas em Pseudococcidae. A espécie *C. montrouzieri* tem sido introduzida em várias regiões do mundo, inclusive no Brasil, podendo ocorrer em um mesmo ambiente de distribuição natural de *T. notata*, nativa da América do Sul. Portanto, utilizamos o software CLIMEX para predizer o potencial de distribuição global de *T. notata* e *C. montrouzieri* levando em conta os requerimentos térmicos e citações de ocorrência. Mapas do potencial estabelecimento das espécies foram elaborados com base no Índice Ecoclimático (EI). De acordo com o modelo CLIMEX, grande parte da América do Sul, África e parte da Austrália são adequadas para a sobrevivência de ambas as espécies, tendo *C. montrouzieri* um valor de EI mais favorável (>60) em maior parte desses continentes, em especial na América do Sul, onde *C. montrouzieri* é uma espécie exótica. Além disso, o modelo CLIMEX estimou a fenologia de *T. notata* e *C. montrouzieri* em diferentes localidades no Estado de Pernambuco, Brasil (Chã Grande, Petrolina, Surubim, Belo Jardim), onde ocorre frequente infestação de Pseudococcidae. No geral a variação no índice de crescimento semanal (TGI_w) das espécies foi influenciada pela precipitação nas quatro localidades. Entretanto, em Chã Grande a temperatura também afetou a previsão da sazonalidade. Os valores de EI foram maiores que 25 em todas as localidades para ambas as espécies. Entretanto, dentre as localidades, observou-se um EI = 34 para Petrolina (semiárido), sendo este o local com menor adequabilidade climática estimada pelo modelo. Os resultados estimados pelo modelo estão de acordo com as citações de ocorrência dessas joaninhas, em particular *C. montrouzieri*, então os modelos estimados pelo CLIMEX oferecem suporte para seu potencial natural de distribuição.

PALAVRAS-CHAVE: Controle biológico, coccinelídeos, CLIMEX, interação potencial distribuição

CLIMATE MATCH FOR GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF THE LADY BEETLES

Tenuisvalvae notata (MULSANT) e *Cryptolaemus montrouzieri* MULSANT (COLEOPTERA:
COCCINELLIDAE)

ABSTRACT – *Tenuisvalvae notata* (Mulsant) and *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant are lady beetles with different regions of origin, although both are predators specialized in Pseudococcidae. The *C. montrouzieri* has been introduced in various regions of the world including Brazil, may occur in the same natural distribution environment of *T. notata*, native of South America. Thus, we used the software CLIMEX to preview the potential global distribution of *T. notata* and *C. montrouzieri* considering their thermal requirements and citations of occurrence. Maps of potential establishment of these species were created based on the Ecoclimate Index (EI) of CLIMEX. According to the model, large part of South America, Africa and part of Australia are suitable for survival of both species, and *C. montrouzieri* has a more favorable value of EI (>60) in larger areas of these continents, especially in South America where *C. montrouzieri* is an exotic species. In addition, the model CLIMEX estimated the phenology of *T. notata* and *C. montrouzieri* in different location of Pernambuco State (Chã Grande, Petrolina, Surubim, Belo Jardim), where infestation of Pseudococcidae occurs frequently. The rainfall at all localities affected the variations in the weekly growth index (TGIW) of species. Nevertheless, in Chã Grande the temperature also affected the estimates of seasonality. The values of EI were larger than 25 in all localities for both species, except for for Petrolina, which was the place with lowest climatic suitability estimated by the model. Results estimated by the model are according to observed occurrence of the ladybird beetles, particularly for *C. montrouzieri*, thus the models estimated by CLIMEX present support to the natural distribution potential of this species.

KEY WORDS: Biological control, coccinellids, CLIMEX, exotic species, potential distribution

Introdução

O controle biológico é um dos principais componentes do manejo integrado de pragas, este consiste no uso de inimigos naturais na manutenção do equilíbrio populacional de pragas nos agroecossistemas (Debach 1968, Ann 2004). Dentre os agentes de controle biológico, os predadores são considerados a primeira linha de defesa das plantas contra insetos fitófagos (Whitcomb 1981). Um programa de controle biológico clássico ocorre com a introdução de uma espécie de inimigo natural exótico para controle de uma praga exótica em um determinado local (Parra *et al.* 2002). Uma das críticas a essa forma de controle biológico é a falta de previsibilidade em termos de estabelecimento e sucesso dos agentes de controle (Hoddle & Syrett 2002). Mudanças climáticas, especialmente o aumento da temperatura, provoca redução da precipitação e seca, afetando diretamente a produção vegetal (Pires *et al.* 016) e indiretamente o controle biológico realizado pelos insetos (Zuim *et al.* 2017). Alguns estudos também mostram que a introdução de espécies de inimigos naturais exóticos pode gerar efeitos não alvo, como a ação sobre outras presas, a predação intra-guilda, e o deslocamento de espécies nativas (Elliott & Kauffman *et al.* 1996). Assim, é necessário realizar a avaliação da eficácia do potencial agente de controle e a correspondência climática entre a área geográfica da praga e dos inimigos naturais, além da possível sobreposição e competição com outros predadores nativos anteriormente a introdução da espécie exótica em um novo local (DeBach 1964).

As joaninhas predadoras *Tenuisvalvae notata* (Mulsant) e *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) são citadas como importantes agentes de controle de cochonilhas farinhentas (Hemiptera: Pseudococcidae) (Babu & Azam 1987, Silva-Torres *et al.* 2013, Barbosa *et al.* 2014a), sendo *T. notata* nativa da América do Sul (Dreyer *et al.* 1997a) e *C. montrouzieri*, nativa da Austrália, a qual foi introduzida no Brasil para o controle de cochonilhas nos citros (Sanches *et al.* 2002). Atualmente, *C. mountrouzieri* encontra-se estabelecida em várias

regiões do país (Mani & Krishnamoorthy 2008, Sanches & Carvalho 2010), podendo ocorrer em áreas onde *T. notata* também ocorre, e assim competir pelo mesmo tipo de alimento.

Sabemos que entre os principais fatores abióticos que interferem nas populações de insetos estão a temperatura e a umidade relativa, sobretudo a temperatura que influencia a taxa de desenvolvimento dos insetos e suas distribuições (Jalali *et al.* 2014, Rehman & Kumar 2018). Dessa forma, o ajuste biológico aos fatores climáticos que afetam a dinâmica populacional dos insetos, em especial as variações de temperatura, é importante para prever o estabelecimento de um inimigo natural exótico e sua capacidade de regulação da população da praga no local de introdução. Além disso, Schneider (2009), também, ressaltou que os fatores ambientais são de grande importância para o desenvolvimento de técnicas de criação massal a fim de viabilizar uma grande produção de inimigos naturais no menor tempo possível.

Muitos estudos abrangem a temperatura como um dos principais fatores que afetam o desenvolvimento e a reprodução em várias espécies de Coccinellidae (Rodriguez-Saona & Miller 1999, Canhilal *et al.* 2001, Schüder *et al.* 2004, Mota *et al.* 2008, Stathas *et al.* 2011). Nesse contexto, modelos bioclimáticos de distribuição de espécies ou de nichos ecológicos são ferramentas usadas com diversas aplicações (Beaumont *et al.* 2005), como na distribuição de espécies invasoras (Peterson 2003) e na avaliação do risco de pragas (Nietschke *et al.* 2007). Em condições encontradas em campo podem prever o desenvolvimento do inseto em uma faixa de temperatura e estimar a dinâmica populacional da praga e do inimigo natural (Fan & Drumond 1992, Briere *et al.* 1998, Kim & Lee 2008, Moerkens *et al.* 2011, Khan *et al.* 2016). Além disso, modelos bioclimáticos nos ajudam a definir quais são as condições mais apropriadas para a criação massal dos inimigos naturais em laboratório.

Os modelos de fenologia exigem o conhecimento do limiar básico de desenvolvimento (T_b) de um inseto e a constante térmica (K) em graus-dia (Nietschke *et al.* 2007) e alguns softwares nos

auxiliam na obtenção de parâmetros bioclimáticos. Dentre esses, o software CLIMEX fornece dois modelos de estresse térmico, o de temperatura limiar e o limite dos graus-dias. Através do CLIMEX, pode-se estimar a distribuição geográfica potencial e a abundância de determinada espécie (ex. inimigo natural) em função do clima, através dos mecanismos que limitam a sua distribuição geográfica, determinando a fenologia e a abundância relativa da espécie com base em sua biologia e dados meteorológicos de longo prazo (função Comparação Climática) (Sutherst *et al.* 2007, Venette 2017). Portanto, a análise do clima dos locais de origem e de liberação dos agentes de controle biológico através de modelos bioclimáticos é fundamental para estimar seu estabelecimento e possível sucesso no controle da praga alvo. Portanto, este trabalho teve como objetivos: i) estudar o padrão de distribuição global de *T. notata* e *C. montrouzieri*; ii) estimar a fenologia dessas espécies de predadores em quatro localidades do Estado de Pernambuco utilizando o software CLIMEX, uma vez que este software tem sido usado com sucesso para estimar o potencial de espécies diferentes em relação às mudanças espaço-temporais (Khormi & Kumar 2014); e iii) estimar possíveis interações entre *T. notata* e *C. mountrouzieri* quando da coexistência no cenário atual de condições climáticas na América do Sul.

Material e Métodos

Software CLIMEX. O software CLIMEX incorpora duas ferramentas diferentes de avaliação climática, são elas o modelo CLIMEX e a função ‘Comparação Climática’ CLIMEX. O modelo integra dados climáticos (frequentemente as normais climatológicas mensais dos últimos 30 anos) com as medidas dos efeitos de temperatura e umidade no crescimento populacional para gerar índices de adequabilidade climática em vários locais ou para descrever mudanças na adequabilidade ao longo do ano em um determinado local. A função comparação climática é uma ferramenta de comparação de dados meteorológicos de diferentes locais e permite pesquisar locais

que tenham clima semelhante a de determinado local selecionado. Essa função tem um algoritmo que mede a similaridade entre o clima de dois ou mais locais baseado numa média mensal de temperatura e precipitação dos últimos 30 anos (Venette 2017). Assim, essa comparação de dados meteorológicos de diferentes locais tem implicações para as espécies, se pretendemos introduzir uma espécie em outro local, como agente de controle biológico, esta função permite analisar se o clima do local de destino é similar ao clima do local de origem da espécie. Além disso, este software utiliza índices para estimar o crescimento potencial e a sobrevivência de uma população em um determinado local e o usuário poderá controlar quais variáveis climáticas são de interesse ou alocar pesos diferentes para cada variável climática em um índice agrupado, pois os índices de crescimento e de estresse combinam-se no Índice Ecoclimático (EI). A escala de similaridade do CLIMEX (ou do EI) varia de 0 a 100, que descreve a adequabilidade climática do local para determinada espécie. Um valor próximo de 0 descreve uma área que é climaticamente inadequada, não sendo favorável para a sobrevivência a longo prazo da espécie, enquanto o valor 100 só é alcançado em condições constantes e ideais, sendo então considerado uma área ideal durante todo o ano e de perfeita similaridade entre o local de referência (origem) e de introdução da espécie (Venette 2017).

O índice de crescimento semanal (TGI_w) varia de 0 a 1, e descreve as condições que favorecem o crescimento da população em um determinado local, modelando a resposta fenológica do organismo em relação às condições ambientais incluindo temperatura, umidade, radiação, substrato, luz e diapausa. Todos ou alguns destes índices podem ser incluídos dependendo dos requisitos da análise (Sutherst *et al.* 2007).

Os parâmetros utilizados no cálculo do índice de temperatura (DV0 – DV3) correspondem à amplitude de temperatura sob a qual determinada população consegue crescer e desenvolver, havendo um limite superior e inferior, e dentro dessa faixa de temperatura pode ocorrer uma taxa

de crescimento populacional ótima (Venette 2017). Os parâmetros DV são as temperaturas limite e ótima para o crescimento populacional de uma espécie. DV0 e DV3 são as temperaturas limite baixa e alta respectivamente. DV1 e DV2 correspondem as temperaturas ótima inferior e superior, respectivamente. Assim, o crescimento populacional de uma espécie é reduzido se a temperatura ambiente está abaixo de DV1 e nenhum crescimento populacional ocorre quando a temperatura ambiente é igual ou superior a DV3. DV0 não é exatamente equivalente a um desenvolvimento limiar para qualquer fase da vida, mas o limiar de temperatura para o crescimento da população estabelecido em condições de campo.

Além disso, as espécies necessitam ter acumulação térmica suficiente durante o crescimento para permitir que espécies completem uma quantidade o desenvolvimento, assim o PDD equivale a constante térmico, pois é o número mínimo de graus-dia acima de DV0, necessário para completar a geração de um organismo. Se o número de graus-dia estabelecidos para PDD não for atingido em um determinado local, o índice ecoclimático (EI) é definido como zero e a espécie é excluída desse local.

O índice de umidade (MI) é baseado na umidade do solo, sendo este um fator dominante para determinar a umidade da vegetação e, conseqüentemente, as condições microclimáticas locais. Além disso, a umidade do solo em relação ao desempenho dos insetos predadores tem importância indireta através do crescimento de plantas hospedeiras e disponibilidade de presa. SM0 e SM3 são os limites mínimo e máximo de umidade, respectivamente. SM1 e SM2 correspondem a umidade ótima mínima e máxima, respectivamente. O crescimento populacional de uma espécie é reduzido se a umidade do solo estiver abaixo de SM1 e nenhum crescimento populacional ocorre quando a umidade do solo é igual ou superior a SM3. Portanto, quando MI é igual a 1 corresponde a um crescimento máximo da população, e MI igual a 0 o crescimento da população é nulo.

Além desses, os índices de estresse estão relacionados com fatores que limitam a distribuição geográfica de uma espécie. Há quatro tipos de estresse: frio, calor, seco e úmido. Quando o índice de acumulação de estresse equivale a 1 a espécie é incapaz de persistir no local. Para mais detalhes quanto aos índices utilizados no software CLIMEX ver Venette (2017).

Estimativa Populacional Utilizando o Modelo CLIMEX. Neste experimento foram estimados o potencial de distribuição geográfica global e na América do Sul das joaninhas *T. notata* e *C. montrouzieri*. Para tal, foi utilizado o modelo CLIMEX, o qual é baseado em informações do Índice Ecoclimático (EI) nos limiares de temperatura para o desenvolvimento de uma espécie. Os índices de crescimento e estresse foram combinados no EI, obtendo uma medida global da adequação do local ou do ano para o estabelecimento da espécie. Considerando que os insetos são poiquilotérmicos e seu desenvolvimento é determinado principalmente pela variação de temperatura, o índice ecoclimático pode ser determinado por $EI = GI \times SI$, assumindo que $GI = TI$, em que GI é o índice de crescimento (“growth index”), SI é o índice de estresse (“stress index”), e TI é o índice de temperatura (“temperature index”), definido pelo limites de temperatura (parâmetros DV) do modelo CLIMEX.

Os parâmetros estimados para a resposta de *C. montrouzieri* à temperatura foram derivados da literatura já existente para essa espécie. Dessa forma, o limiar de temperatura para o crescimento da população (DV0) é igual a 14,5 °C (Gutierrez *et al.* 2008), este valor é consistente com os resultados de Babu & Azam (1987). Jalali *et al.* (1999) indicaram que as temperaturas ótimas para o desenvolvimento de *C. montrouzieri* foram 25 °C (DV1) e 30 °C (DV2). Como Saljoqi *et al.* (2014), Saeedi *et al.* (2015) observaram crescimento populacional positivo a 32 °C, o limite superior de temperatura para o crescimento da população (DV3) foi considerado 37,5 °C. Este valor é um pouco menor que os 38,5 °C citado por Gutierrez *et al.* (2008), mas sua projeção foi além do intervalo de dados experimentais considerados. Os parâmetros para estresse térmico

(limiares e taxas de acumulação) foram derivados de Solangi *et al.* (2013), já os parâmetros para estresse pelo frio (limiares e taxas de acumulação) foram derivados de observações feitas por Maes *et al.* (2015). Já os parâmetros de umidade (SM0-3, SMDS, HDS, SMWS e HWS) foram obtidos do modelo desenvolvido por Poutsma *et al.* (2008) para *Harmonia axyridis* (Pallas), sendo que uma observação da distribuição prevista versus a observada na Austrália forneceram a garantia de que esses parâmetros são adequados (Tabela 1).

Através dos resultados encontrados por Dreyer *et al.* (1997b) e dados ainda não publicados (Ferreira, L.F. Capítulo 2) para *T. notata*, estimamos os valores do limiar mínimo de temperatura (DV0), temperatura ótima mínima (DV1), ótima máxima (DV2) e limiar máximo de temperatura (DV3), de 15,1; 27,2; 31 e 33 °C, respectivamente, para essa espécie. Devido a ausência de dados na literatura, os demais parâmetros, como umidade do solo (MI), estresse pelo frio (CS), estresse térmico (HS), estresse pela seca (DS) e estresse úmido (WS) foram utilizados os mesmos valores referentes à *C. montrouzieri* (Tabela 1). Após os ajustamentos dos parâmetros para as espécies a elaboração dos gráficos foi realizada baseando-se no clima histórico (CM30: World 1975H_V1.1) utilizando-se o CLIMEX versão 4.0 (Hearne Software, Melbourne, Austrália).

Previsões Fenológicas. A previsão fenológica da ocorrência de coccinelídeos é importante para servir de base no manejo de pragas, contribuindo para pré-avaliação do potencial de estabelecimento das espécies em programa de controle biológico. Portanto, realizamos as estimativas da fenologia de *C. montrouzieri* e *T. notata* em diferentes locais de Pernambuco, Chã Grande (Lat: - 8.2522/ Long: -35.4549), Petrolina (Lat: -9,3948 / Long: - 40,4962), Surubim (Lat.: -7,8711/Long.: - 35,7533), e Belo Jardim (Lat.: - 8,3446/ Long.: -36,4134), onde ambas as espécies de joaninhas podem coexistir e competir pela presa, com base nas condições climáticas locais previstas no modelo CLIMEX. Nesse caso, no modelo CLIMEX, a “fenologia” é uma medida de mudanças sazonais nos vários índices que o CLIMEX calcula. Entre eles, o índice de crescimento

que fornece um bom indicador de quando o clima está favorável para o crescimento populacional do inseto (Venette 2017).

Interação entre Predadores. Por fim, a interação entre *T. notata* e *C. montrouzieri* e adequabilidade climática foram estimados pela diferença entre os índices ecoclimáticos (EIs) das duas espécies na América do Sul, onde *T. notata* é nativa e *C. montrouzieri* é exótica, no cenário de condições climáticas atuais. Em áreas com valores fortemente positivos, o clima é mais adequado para *T. notata*, sendo estes locais raros. Por outro lado, em áreas com valores fortemente negativos, o clima é mais adequado para *C. montrouzieri*. Já em áreas onde a diferença do EI está entre -3 a +3, estas não são propensas a fornecer uma vantagem climática para nenhuma das espécies, podendo haver coexistência.

Resultados

Estimativa Populacional Utilizando o Modelo CLIMEX. Quando aplicamos os parâmetros estimados para *C. montrouzieri* e *T. notata* e os dados meteorológicos no CLIMEX, os mapas CLIMEX de distribuição potencial global das espécies foram obtidos, sugerindo que parte do clima global é adequada para o estabelecimento de ambas as joaninhas, destacando-se as áreas da América do Sul, África e Austrália (Figs. 1 e 2). Na Europa, onde a disseminação das joaninhas está ausente, a previsão do modelo está coerente (Figs. 1 e 2), assim como, na América do Norte, região Norte da África e grande parte da Austrália, a previsão do modelo se ajusta apropriadamente à distribuição inexistente atual de *C. montrouzieri* (Fig. 1) e *T. notata* (Fig. 2).

Especificamente para *C. montrouzieri*, observa-se no geral que as áreas mais próximas a linha do Equador ou aquelas de temperatura mais elevadas como parte da América Central, e a região Norte da América do Sul, abrangendo também as regiões Norte do Brasil, litoral Nordeste e parte do Sudeste e Centro Oeste do Brasil, o Índice Ecoclimático (EI) estimado foi superior a 80,

indicando clima bastante favorável ao estabelecimento dessa espécie. Além disso, maior parte do território brasileiro é favorável ao estabelecimento de *C. montrouzieri* com $EI > 60$, e apenas uma pequena área com EI entre 0 e 20, sendo estas com baixa adequabilidade climática para estabelecimento dessa espécie (Fig. 3). Ainda com relação a *C. montrouzieri*, interessante observa-se que no continente australiano, local de origem dessa espécie, existe menor área total com $EI > 80$, sendo que parte da Austrália possui clima predominante desértico, provocando dificuldade para desenvolver e estabelecer, em comparação a América do Sul, que se mostra com clima mais favorável ao estabelecimento dessa joaninha (Fig. 1).

Em relação a *T. notata*, tratando-se do continente Sulamericano, seu local de origem, observa-se um valor do $EI > 80$ em parte do Norte da América do Sul, com destaque para o Norte do Brasil, litoral do Nordeste e parte da região Centro Oeste no Estado do Mato Grosso do Sul e divisa com o Paraguai (Fig. 4). De acordo com a estimativa do CLIMEX, maior parte do território brasileiro é inadequada para o estabelecimento da *T. notata* com EI entre 0 e 20 (Fig. 4), em comparação a *C. montrouzieri*.

Previsões Fenológicas. Em relação à fenologia das joaninhas em quatro localidades de Pernambuco: Belo Jardim (Fig. 5), Chã Grande (Fig. 6), Petronina (Fig. 7) e Surubim (Fig. 8), nenhuma ofereceu condições climáticas de estresse pelo frio, calor ou seca à ocorrência das joaninhas. No geral, apenas a precipitação se mostrou um fator a influenciar a dinâmica populacional das joaninhas, exceto para Chã Grande onde a temperatura também contribuiu significativamente para a estimativa da fenologia das joaninhas ao longo do ano (Fig. 6).

Todas as localidades apresentaram um EI superior a 25, se mostrando favorável ao crescimento das joaninhas. Entretanto, dentre as localidades, observou-se um $EI = 34$ para Petrolina, sendo este local com menor adequabilidade climática estimada pelo modelo. Já Belo Jardim e Surubim tiveram valores de EI semelhantes, 61 e 66, respectivamente, e Chã Grande foi o

local que teve o maior valor de EI (94). A variação no índice de crescimento semanal foi influenciada principalmente pelas mudanças na precipitação em todas as localidades, entretanto em Chã Grande, a variação sazonal de temperatura teve um maior efeito sobre a dinâmica populacional (Fig. 6).

Interação entre Predadores. Por fim, observando as estimativas do modelo CLIMEX para interação das espécies cenário climático atual, temos que a maior parte da América do Sul é mais adequada para a *C. montrouzieri*, mostrando a diferença nos parâmetros de averiguação da adequabilidade do ambiente (Fig. 9).

Discussão

O CLIMEX demonstrou ser uma ferramenta eficaz para prever a distribuição e avaliar os riscos de uma grande variedade de espécies, bem como inimigos naturais (Sutherst & Maywald 2005) incluindo as joaninhas *T. notata* e *C. montrouzieri* aqui avaliadas. Entretanto, como todo programa de simulação de fenômenos ecológicos, o CLIMEX tem suas limitações. Fatores biológicos, também, limitam o potencial de distribuição das espécies e estimativas do CLIMEX, incluindo a disponibilidade de alimento, a capacidade de dispersão e as interações entre as espécies, como competição, canibalismo, predação e parasitismo, bem como práticas de manejo de pragas não são incluídos nas simulações (Baker *et al.* 2000), sendo necessário ser consideradas em outros estudos específicos para cada uma dessas interações.

Joaninhas predadoras foram introduzidas em várias regiões geográficas. No continente Americano (Norte e Sul), a comunidade de coccinelídeos é cada vez mais dominada por espécies exóticas, e a abundância de algumas espécies nativas tem diminuindo drasticamente desde os anos 80 (Brown *et al.* 2011, Bahlai *et al.* 2015). Alguns fatores favorecem o estabelecimento das espécies exóticas, como capacidade de resposta às presas alternativas (Evans & Toler 2007), altas taxas de

fecundidade (Kajita & Evans 2010), inibição de oviposição na presença de outras joaninhas (Hodek & Michaud 2008), maior tamanho corporal (Roy *et al.* 2002), que por sua vez é associado ao potencial de reprodução e a capacidade de dispersão que promove a rápida disseminação para outras regiões.

O clima, também, é um fator importante para o estabelecimento de uma espécie, sendo que a taxa de desenvolvimento e a reprodução dos organismos poiquilotérmicos dependem da exposição à temperatura ao longo do tempo (Jarvis & Baker 2001). A similaridade climática com a região nativa pode favorecer substancialmente a espécie exótica, e à medida que o clima muda, o mesmo acontece com a distribuição das espécies. O aumento global da temperatura, dentro de uma faixa favorável acelera as taxas de desenvolvimento, reprodução e sobrevivência em insetos tropicais e subtropicais (Parmesan *et al.* 1999). Consequentemente, os insetos serão capazes de completar um maior número de gerações por ano podendo favorecer o estabelecimento das espécies exóticas. Além da temperatura, a precipitação tem um efeito importante na abundância e diversidade de artrópodes, a alta umidade favorece alguns insetos, como pulgões, já tripses, moscas brancas e cochonilhas são sensíveis à precipitação e são removidos ou mortos por fortes chuvas, enquanto que veranicos e secas prolongadas favorecem as cochonilhas (Rehman & Kumar 2018). Assim, informações sobre o clima de um determinado local e a relação entre a resposta do organismo e as covariáveis climáticas são usadas para prever se uma espécie pode persistir na área (Venette 2015).

As joaninhas *T. notata* e *C. montrouzieri* possuem alta voracidade e alimentam-se de cochonilhas farinhentas tanto na fase larval quanto adulta (Barbosa *et al.* 2014a,b), assim, podem apresentar nicho similar e sobreposição alimentar resultando em interações como competição e predação, devido à amplitude da dieta, preferências de habitat e limiares térmicos para o desenvolvimento destas espécies de joaninhas.

A análise atual projeta a distribuição geográfica potencial de *T. notata* e *C. montrouzieri* em várias partes do mundo, com base no ajuste dos parâmetros CLIMEX. Suposições do modelo CLIMEX mostram que a maior parte da América do Sul, área onde *T. notata* é nativa, é mais adequada para *C. montrouzieri* possibilitando o estabelecimento da espécie exótica em locais desfavoráveis ao predador nativo.

No hemisfério Sul, onde o *C. montrouzieri* foi introduzido intencionalmente ou pode chegar por acaso, as chances de sobrevivência são altas em grande parte. Além disso, a diferença estimada no Índice Ecoclimático entre as joaninhas mostra que *C. montrouzieri* pode ter uma distribuição mais abrangente do que *T. notata*, isto ocorre porque *C. montrouzieri* apresenta um nicho térmico mais amplo e, portanto, é provável que seja encontrada na América do Sul por ser um local climaticamente adequado.

Na Europa e América do Norte, como Canadá e as grandes planícies nos EUA, a previsão do modelo se ajusta muito bem à distribuição atual das espécies (Kairo *et al.* 2013), sendo que estas áreas possuem locais limitados para hibernação, além de condições climáticas extremas, como invernos frios. Isso poderia explicar porque essas regiões têm registros de distribuição inexistente de ambas as joaninhas aqui estudadas. Além disso, também, foi observado inexistência de estabelecimento em parte da África e região central da Austrália, provavelmente devido às condições climáticas extremas e ao clima predominante desértico/árido, de modo que há pouca ou nenhuma vegetação dificultando o estabelecimento tanto da presa como dos predadores.

A previsão utilizando o CLIMEX é mais útil para espécies que estão distribuídas em uma área mais restrita, como as joaninhas *T. notata* e *C. montrouzieri*, do que para uma espécie mais cosmopolita, sendo mais fácil extrapolar o clima da área de origem para outros continentes (Sutherst *et al.* 2007). No caso de *C. montrouzieri*, a situação é favorável porque essa espécie já foi introduzida e estabelecida em alguns outros continentes como por exemplo na América do Sul e na

África. Desta forma, os valores dos parâmetros podem ser facilmente verificados na literatura, sendo que podemos usar a distribuição observada fora do seu intervalo nativo por exemplo, a ampla ocorrência de *C. montrouzieri* nos continentes África, América, Ásia (Kairo *et al.* 2013) e *T. notata* na África (Benim, Zâmbia) (Chakupurakal *et al.* 1994, Dreyer 1997ab) como uma verificação dos valores dos parâmetros no CLIMEX. Como o estabelecimento na América do Sul e parte da África abrange valores de EI maiores que 25, pode-se concluir que os valores dos parâmetros nesta pesquisa foram apropriados, havendo suporte para o modelo desenvolvido pelo software CLIMEX.

Baseado nas estimativas do modelo CLIMEX podemos observar também que a espécie de joaninha exótica *C. montrouzieri* tem maior adequabilidade climática na América do Sul, em comparação à *T. notata*, ao passo que locais raros são mais favoráveis a espécie nativa. Assim, é possível que quando da coocorrência destas joaninhas em um dado local, o resultado da competição entre elas poderá ser definida pelas condições climáticas locais, com possível deslocamento da espécie nativa. Vários estudos sugerem diminuição da abundância total de joaninhas nativas após o estabelecimento de espécies exóticas (Turnipseed *et al.* 2014, Bahlai *et al.* 2015, Diepenbrock *et al.* 2016). No entanto, as comparações devem ser feitas com cautela. Harmon *et al.* (2007) não encontraram declínio significativo e consistente na abundância de joaninhas nativas após o estabelecimento de *Coccinella septempunctata* (L.) e *H. axyridis*. Bahlai *et al.* (2015) analisaram um conjunto de dados de 24 anos da estrutura da comunidade de coccinelídeos no sudoeste de Michigan e mostraram que o impacto de espécies exóticas em coccinelídeos nativos varia com o seu grau de interação, apesar, de várias espécies nativas estarem em declínio numérico, apenas *Adalia bipunctata* (L.) e *Coleomegilla maculata* (DeGeer) diminuíram em valores estatisticamente significativos. Esse declínio provavelmente foi impulsionado pela exploração competitiva devido à sobreposição alimentar com os invasores, mas pode ser aumentada devido a

influência dos fatores climáticos locais. Por outro lado, para o Estado de Pernambuco, as quatro localidades avaliadas (Chã Grande, Petrolina, Surubim e Belo Jardim) que representam as diferentes microrregiões climáticas onde ocorrem cochonilhas, todas se mostraram com $EI > 25$, sugerindo adequabilidade climática para a ocorrência de *C. montrouzieri* e *T. notata*, sendo no geral a precipitação, o fator mais limitante que poderá influenciar a sazonalidade destes predadores ao longo do ano, caso haja disponibilidade de presa.

Em conclusão, de acordo com as previsões do CLIMEX, *T. notata* e *C. montrouzieri* são capazes de sobreviver e estabelecer em áreas de clima mais quente, como equatorial e tropical. Além disso, o Índice Ecoclimático na América do Sul apresenta um valor mais apropriado para o estabelecimento de *C. montrouzieri* em comparação com *T. notata*. As estimativas do CLIMEX mostra que esse software é uma ferramenta estratégica para prever a adequabilidade climática e probabilidade potencial de estabelecimento de um agente de controle biológico, além de avaliar riscos para espécies não-alvo e de pragas. Mas, baseado em nossa análise, o clima não é um fator limitante por si só, e a sazonalidade dos predadores também sofre efeito dos aspectos biológicos e características ecológicas das presas, plantas hospedeiras e predadores, desempenhando um papel importante para o sucesso de programas de controle biológico.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

Literatura Citada

- Ann, H. 2004.** Natural enemies: an introduction to biological control. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 378p.
- Babu, T.R. & K.M. Azam. 1987.** Biology of *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant, (Coccinellidae: Coleoptera) in relation with temperature. *Entomophaga* 32: 381–386.

- Baker, R.H.A., C.E. Sansford, C.H. Jarvis, R.J.C. Cannon, A. MacLeod & K.F.A. Walters. 2000.** The role of climatic mapping in predicting the potential geographical distribution of non-indigenous pests under current and future climates. *Agric. Ecosyst. Environ.* 82: 57–71.
- Bahlai, C.A., M. Colunga-Garcia, S.H. Gage & D.A. Landis. 2015.** The role of exotic ladybeetles in the decline of native ladybeetle populations: evidence from long-term monitoring. *Biol. Invasions* 17: 1005–1024.
- Barbosa, P.R.R., M.D. Oliveira, J.A. Giorgi, C.S.A. Silva-Torres & J.B. Torres. 2014a.** Predatory behavior and life history of *Tenuisvalvae notata* (Coleoptera: Coccinellidae) under variable prey availability conditions. *Fla. Entomol.* 97: 1026–1034.
- Barbosa, P.R.R., M.D. Oliveira, J.A. Giorgi, J.E.M. Oliveira & J.B. Torres. 2014b.** Suitability of two prey species for development, reproduction, and survival of *Tenuisvalvae notata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 107: 1102–1109.
- Canhilal, R., N. Uyugun & G.R. Carner. 2001.** Effects of temperature on development and reproduction of a predatory beetle, *Nephus includes* Kirsch (Coleoptera: Coccinellidae). *J. Agric. Urban Entomol.* 18: 117–125.
- Chakupurakal, J., R. H. Markham, P. Neuenschwander, M. Sakala, C. Malambo, D. Mulwanda, E. Banda, A. Chalabesa, T. Bird & T. Haug. 1994.** Biological control of the cassava mealybug, *Phenacoccus manihoti* (Homoptera: Pseudococcidae), in Zambia. *Biol. Control* 4: 254–262.
- DeBach, P. 1964.** Biological control of insect pests and weeds. London, Chapman & Hall Ltd, 844p.
- DeBach, P. 1968.** Control biológico de las plagas de insectos y malas hierbas. México, Editora Continental, 927p.
- Diepenbrock, L.M., K. Fothergill, K.V. Tindall, J.E. Losey, R.R. Smyth & D.L. Finke. 2016.** The influence of exotic lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae) establishment on the species composition of the native lady beetle community in Missouri. *Environ. Entomol.* 45:855–864.
- Dreyer, B.S., P. Neuenschwander, J. Baumgärtner & S. Dorn. 1997a.** Trophic influences on survival, development and reproduction of *Hyperaspis notata* (Col., Coccinellidae). *J. Appl. Entomol.* 121: 249–256.
- Dreyer, B.S., P. Neuenschwander, B. Bouyjou, J. Baumgärtner & S. Dorn. 1997b.** The influence of temperature on the life table of *Hyperaspis notata*. *Entomol. Exp. Appl.* 84: 85–92.
- Elliott, N., R. Kieckhefer & W. Kauffman. 1996.** Effects of an invading coccinellid on native coccinellids in an agricultural landscape. *Oecologia* 105: 537–544.

- Evans, E.W. & T. Toler. 2007.** Aggregation of polyphagous predators in response to multiple prey species: ladybirds (Coleoptera: Coccinellidae) foraging in alfalfa. *Popul. Ecol.* 49:29–36.
- Gutierrez, A.P., K.M. Daane, L. Ponti, V.M. Walton & C.K. Ellis. 2008.** Prospective evaluation of the biological control of vine mealybug: refuge effects and climate. *J. Appl. Ecol.* 45:524–536.
- Harmon, J.P., E. Stephens & J. Losey. 2007.** The decline of native coccinellids (Coleoptera: Coccinellidae) in the United States and Canada. *J. Insect. Conserv.* 11:85–94.
- Hoddle, M. & P. Syrett. 2002.** Realizing the potential of classical biological control, p. 395–424. In G. Hallman & C. Schwalbe (eds.), *Invasive arthropods in agriculture: problems and solutions*. Enfield, USA, Science Publishers, 447p.
- Hodek, I. & J.P. Michaud. 2008.** Why is *Coccinella septempunctata* so successful? (A point-of-view). *Eur. J. Entomol.* 105:1–12.
- Jalali, S.K., S.P. Singh & S.R. Biswas. 1999.** Effect of temperature and female age on the development and progeny production of *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae). *Entomon* 24: 293–296.
- Jalali M., M. Mehrnejad & D. Kontodimas. 2014.** Temperature-dependent development of the five psyllophagous ladybird predators of *Agonoscena pistaciae* (Hemiptera: Psyllidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 107: 445–452.
- Jarvis, C.H. & R.H.A Baker. 2001.** Risk assessment for nonindigenous pests: 1. Mapping the outputs of phenology models to assess the likelihood of establishment. *Divers. Distrib.* 7: 223–235.
- Kairo, M.T.K., O. Paraiso, R.D. Gautam & D.D. Peterkin. 2013.** *Cryptolaemus montrouzieri* (Mulsant) (Coccinellidae: Scymninae): a review of biology, ecology, and use in biological control with particular reference to potential impact on non-target organisms. *CAB Rev.* 8: 1–20.
- Kajita, Y. & E.W. Evans. 2010.** Relationships of body size, fecundity, and invasion success among predatory lady beetles (Coleoptera: Coccinellidae) inhabiting alfalfa fields. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 103:750–756.
- Khormi, H.M. & L. Kumar. 2014.** Climate change and the potential global distribution of *Aedes aegypti*: spatial modelling using GIS and CLIMEX. *Geospatial Health* 8: 405–415.
- Maes, S., J.C. Grégoire & P. De Clercq. 2015.** Cold tolerance of the predatory ladybird *Cryptolaemus montrouzieri*. *BioControl* 60: 199–207.
- Brown, P.M.J., C.E. Thomas, E. Lombaert, D.L. Jeffries, A. Estoup & L.J.L. Handley. 2011.** The global spread of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae): distribution, dispersal and routes of invasion. *BioControl* 56: 623–641.

- Mani, M. & A. Krishnamoorthy. 2008.** Biological suppression of the mealybugs *Planococcus citri* (Risso), *Ferrisia virgata* (Cockerell) and *Nipaecoccus viridis* (Newstead) on pummel with *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant in India. *J. Biol. Control* 22: 169–172.
- Mota, J.A., Onofre Soares & P. Ventura Garcia. 2008.** Temperature dependence for development of the whitefly predator *Clitostethus arcuatus* (Rossi). *BioControl* 53: 603–613.
- Nietschke, B.S., R.D. Magarey, D.M. Borchert, D.D. Calvin & E. Jones. 2007.** A developmental database to support insect phenology models. *Crop Prot.* 26: 1444–1448.
- Parmesan, C., N. Ryrholm, C. Stefanescu, J.K. Hill, C.D. Thomas, H. Descimon, B. Huntley, L. Kaila, J. Kullberg, T. Tammaru, W. J. Tennent, J.A. Thomas & M. Warren. 1999.** Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399: 579–583.
- Parra, J.R.P., P.S.M. Botelho, B.S. Corrêa-Ferreira & J.M.S. Bento. 2002.** Controle biológico: terminologia, p. 1–16. In J.R.P Parra, P.S.M. Botelho, B.S. Corrêa-Ferreira & J.M.S. Bento (eds.), *Controle biológico no Brasil: parasitoides e predadores*. São Paulo, Manole, 609p.
- Pires, G.F., G.M. Abrahão, L.M. Brumatti, L.J.C. Oliveira, M.H. Costa, S. Liddicoat, E. Kato & R. Ladle. 2016.** Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture systems: implications for land use in Northern Brazil. *Agric. For. Meteorol.* 228–229: 286–298.
- Poutsma, J., A.J.M. Loomans, B. Aukema & T. Heijerman. 2008.** Predicting the potential geographical distribution of the harlequin ladybird, *Harmonia axyridis*, using the CLIMEX model. *BioControl* 53: 103–125.
- Rehman, S.A. & R. Kumar. 2018.** Scenario of insect pests under changing climatic situations. *Int. J. Chem. Stud.* 6: 77–81.
- Rodriguez-Saona, C., & J.C. Miller. 1999.** Temperature-dependent effects on development, mortality, and growth of *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae). *Environ. Entomol.* 28: 518–522.
- Roy, K., D. Jablonski & J.W. Valentine. 2002.** Body size and invasion success in marine bivalves. *Ecol. Lett.* 5:163–167.
- Saeedi, N., M.R. Damavandian & H.D. Moghanloo. 2015.** Effects of temperature on population growth parameters of *Cryptolaemus montrouzieri* (Coleoptera: Coccinellidae) reared on *Planococcus citri* (Homoptera: Pseudococcidae). *Arthropods* 4: 78–89.
- Saljoqi, A., M. Nasir, J. Khan, Ehsan-ul-Haq, N. Asad & I. Raza. 2014.** The impact of temperature on biological and life table parameters of *Cryptoleamus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) fed on cotton mealy bug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley. *Pak. J. Zool.* 46: 1591–1597.

- Sanches, N.F., R. da S. Carvalho, E.S. Silva, I.P. Santos & R.C. Caldas. 2002.** Técnica de criação do predador exótico *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Col.; Coccinellidae) em laboratório. Cruz das Almas, Embrapa mandioca e fruticultura, 8p. (Circular Técnica 47).
- Sanches, N.F. & R. Carvalho. 2010.** Procedimentos para manejo da criação e multiplicação do predador exótico *Cryptolaemus montrouzieri*. Cruz das Almas, Embrapa mandioca e fruticultura, 5p. (Circular Técnica 99).
- Schneider, J.C. 2009.** Environmental biology of insect rearing, p. 97–120. In J.C. Schneider (ed.), Principles and procedures for rearing high quality insects. Mississippi State University, Mississippi State, MS, 352p.
- Schüder, I., M. Hommes & O. Larink. 2004.** The influence of temperature and food supply on the development of *Adalia bipunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). Eur. J. Entomol. 101: 379–384.
- Silva-Torres, C.S.A., M.D. Oliveira, P.R. Barbosa & J.B. Torres. 2013.** Host selection and establishment of striped mealybug, *Ferrisia virgata*, on cotton cultivars. Phytoparasitica 41: 31–40.
- Solangi, G.S., F. Karamaouna, D. Kontodimas, P. Milonas, M.K. Lohar, G.H. Abro & R. Mahmood. 2013.** Effect of high temperatures on survival and longevity of the predator *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant. Phytoparasitica 41: 213–219.
- Stathas, G.J., C. Kontodimas, F. Karamaouna & S. Kampouris. 2011.** Thermal requirements and effect of temperature and prey on the development of the predator *Harmonia axyridis*. Environ. Entomol. 40: 1541–1545.
- Sutherst, R.W. & G. Maywald. 2005.** A climate model of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae): Implications for invasion of new regions, particularly Oceania. Environ. Entomol. 34: 317–335.
- Sutherst, R.W., G.F. Maywald & D.J. Kriticos. 2007.** CLIMEX version 3: user's guide. South Yarra: Hearne Scientific Software.
- Turnipseed, R.K., T.A. Uguine & J.E. Losey. 2014.** Effect of prey limitation on competitive interactions between a native lady beetle, *Coccinella novemnotata*, and an invasive lady beetle, *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). Environ. Entomol. 43: 969–976.
- Venette, R.C. 2015.** The challenge of modelling and mapping the future distribution and impact of invasive alien species. CAB International: 1–17.
- Venette, R.C. 2017.** Climate analyses to assess risks from invasive forest insects: Simple matching to advanced models. Curr. For. Rep. 3: 255–268.
- Whitcomb, W.H. 1981.** The use of predators in insect control, p. 105–123. In Pimentel, D. (ed.), CRC Handbook of pest management in agriculture. vol. 1, Boca Raton, CRC Press, 597p.

Zuim, V., H.S. Rodrigues, D. Pratissoli & J.B. Torres. 2017. Thermal requirements and performance of the parasitoid *Trichogramma pretiosum* on *Helicoverpa armigera* eggs under variable temperatures. *Environ. Entomol.* 46: 1156–1164.

Tabela 1. Valores de parâmetros usados no software Climex (função ‘Comparação Climática’) para a simulação da distribuição potencial de *Cryptolaemus montrouzieri* e *Tenuisvalvae notata*.

Parâmetros	Código	Valor <i>C. montrouzieri</i>	Valor <i>T. notata</i>
Índice de temperatura (°C)			
Limiar mínimo de temperatura	DV0	14,5	15,1
Temperatura ótima mínima	DV1	25	27,2
Temperatura ótima máxima	DV2	30	31
Limiar máximo de temperatura	DV3	37,5	33
Índice de umidade do solo - MI			
Limiar mínimo de umidade	SM0	0,1	0,1
Umidade ótima mínima	SM1	0,3	0,3
Umidade ótima máxima	SM2	1,9	1,9
Limiar máximo de umidade	SM3	2	2
Índice de estresse pelo frio - CS			
Limiar de temperatura do estresse pelo frio	TTCS	0	0
Taxa de acumulação do estresse pelo frio	THCS	0	0
Limiar de graus-dias de estresse pelo frio	DTCS	0	0
Taxa de graus-dias de estresse pelo frio	DHCS	0	0
Limiar de temperatura média do	TTCSA	9,5	9,5
Taxa de temperatura média do frio	THCSA	- 0,01058	- 0,01058
Índice de estresse térmico - HS			
Limiar de temperatura do stress pelo calor	TTHS	37,52	37,52
Taxa de acumulação do stress pelo calor	THHS	0,0744	0,0744
Limiar de graus-dias de estresse por calor	DTHS	0	0
Taxa de graus-dias de estresse por calor	DHHS	0	0
Índice de estresse pela secura - DS			
Limiar do estresse pela secura	SMDS	0,1	0,1
Taxa de acumulação do estresse pela secura	HDS	- 0,001	- 0,001
Índice de estresse úmido - WS			
Limiar do stress pela umidade	SMWS	2	2
Taxa de acumulação do stress pela umidade	HWS	0,01	0,01
Graus-dias			
Acumulação de graus dia acima do limiar mínimo de temperatura (DV0)	DV0- MTS	7	7
Acumulação de graus-dia acima da temperatura de desenvolvimento (DVCS)	DVCS -MTS	7	7
Graus-dias por geração	PDD	600	600

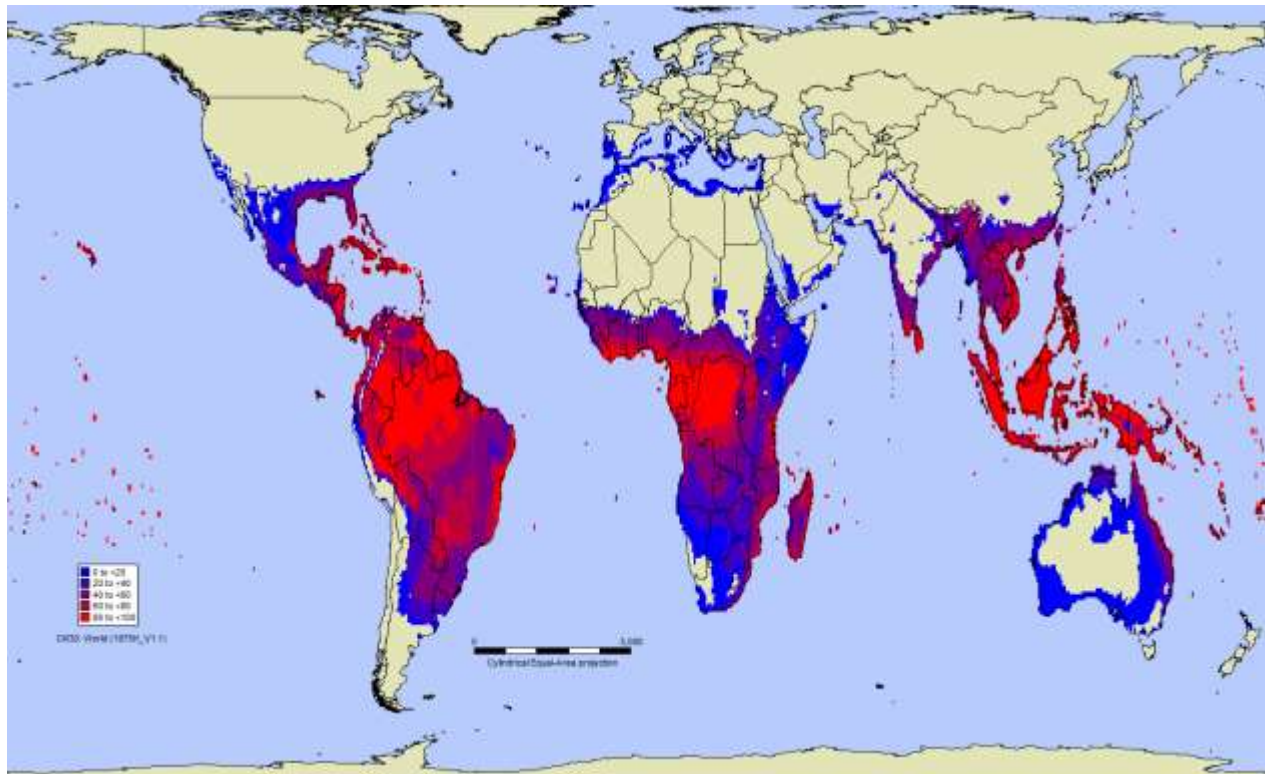


Figura 1. Mapa CLIMEX de distribuição potencial global de *Cryptolaemus montrouzieri* indicando Índices Ecoclimáticos (EI). Cor cinza = áreas desfavoráveis (EI = 0), azul claro = áreas marginalmente adequadas ($1 \leq EI < 20$), azul escuro = área favorável ($20 \leq EI < 40$), roxo/vermelho = áreas muito favoráveis ($40 \leq EI < 100$).

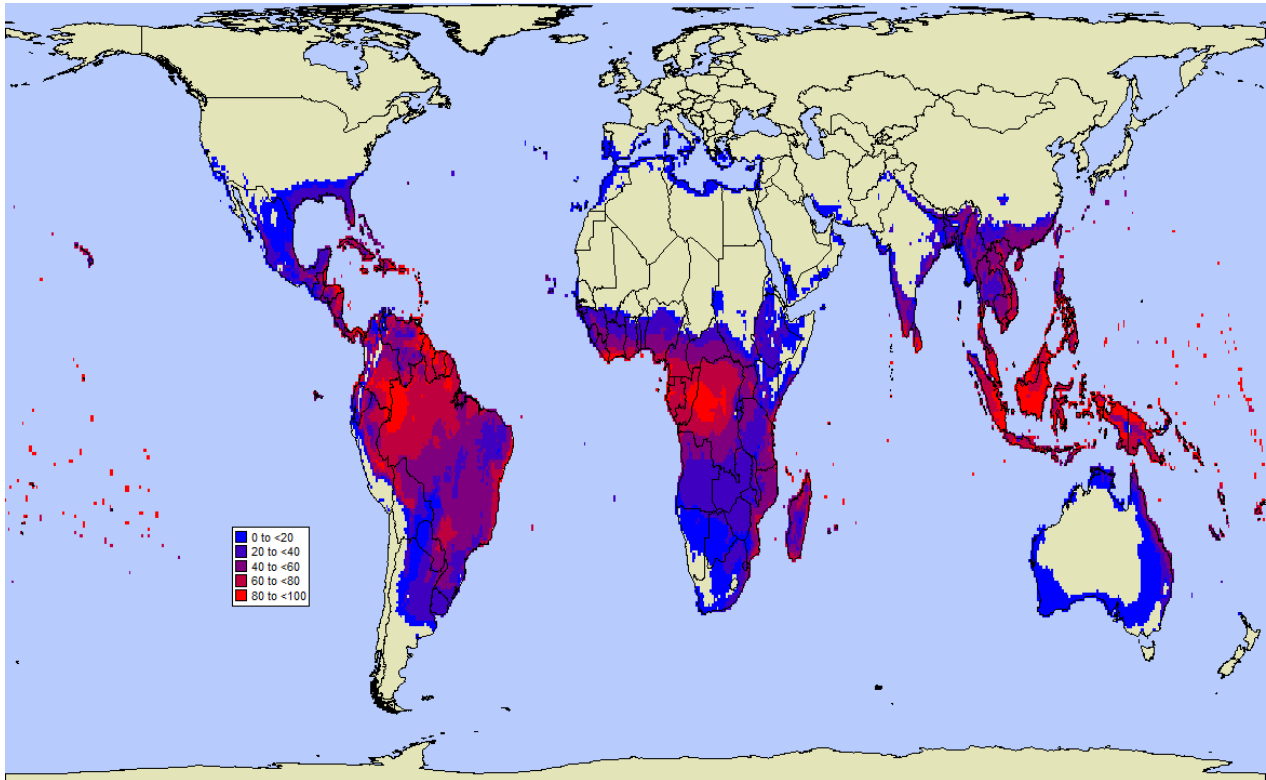


Figura 2. Mapa CLIMEX de distribuição potencial global de *Tenuisvalvae notata* indicando Índices Ecoclimáticos (EI). Cor cinza = áreas desfavoráveis (EI = 0), azul claro = áreas marginalmente adequadas ($1 \leq EI < 20$), azul escuro = área favorável ($20 \leq EI < 40$), roxo - vermelho = áreas muito favoráveis ($40 \leq EI < 100$).

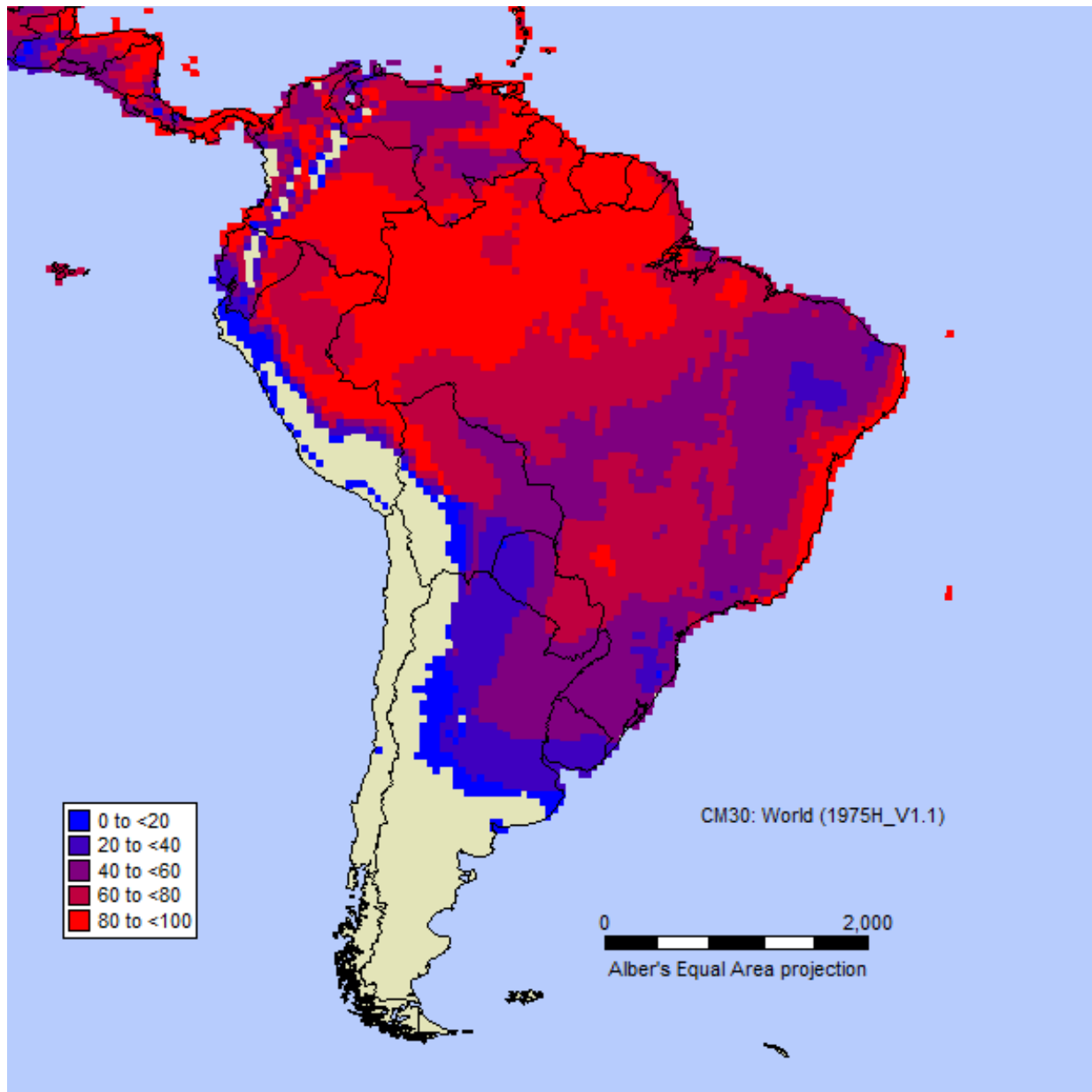


Figura 3. Mapa de favorecimento climático estimado para o potencial estabelecimento de *Cryptolaemus montrouzieri* na América do Sul. As faixas de probabilidade são intervalos de temperatura do Índice Ecoclimático do software CLIMEX (Hearne Software, Melbourne, Austrália). As áreas mais escuras são altamente favoráveis para o estabelecimento de *Cryptolaemus montrouzieri*. Cor cinza = áreas desfavoráveis (EI = 0), azul claro = áreas marginalmente adequadas ($1 \leq EI < 20$), azul escuro = área favorável ($20 \leq EI < 40$), roxo - vermelho = áreas muito favoráveis ($40 \leq EI < 100$).

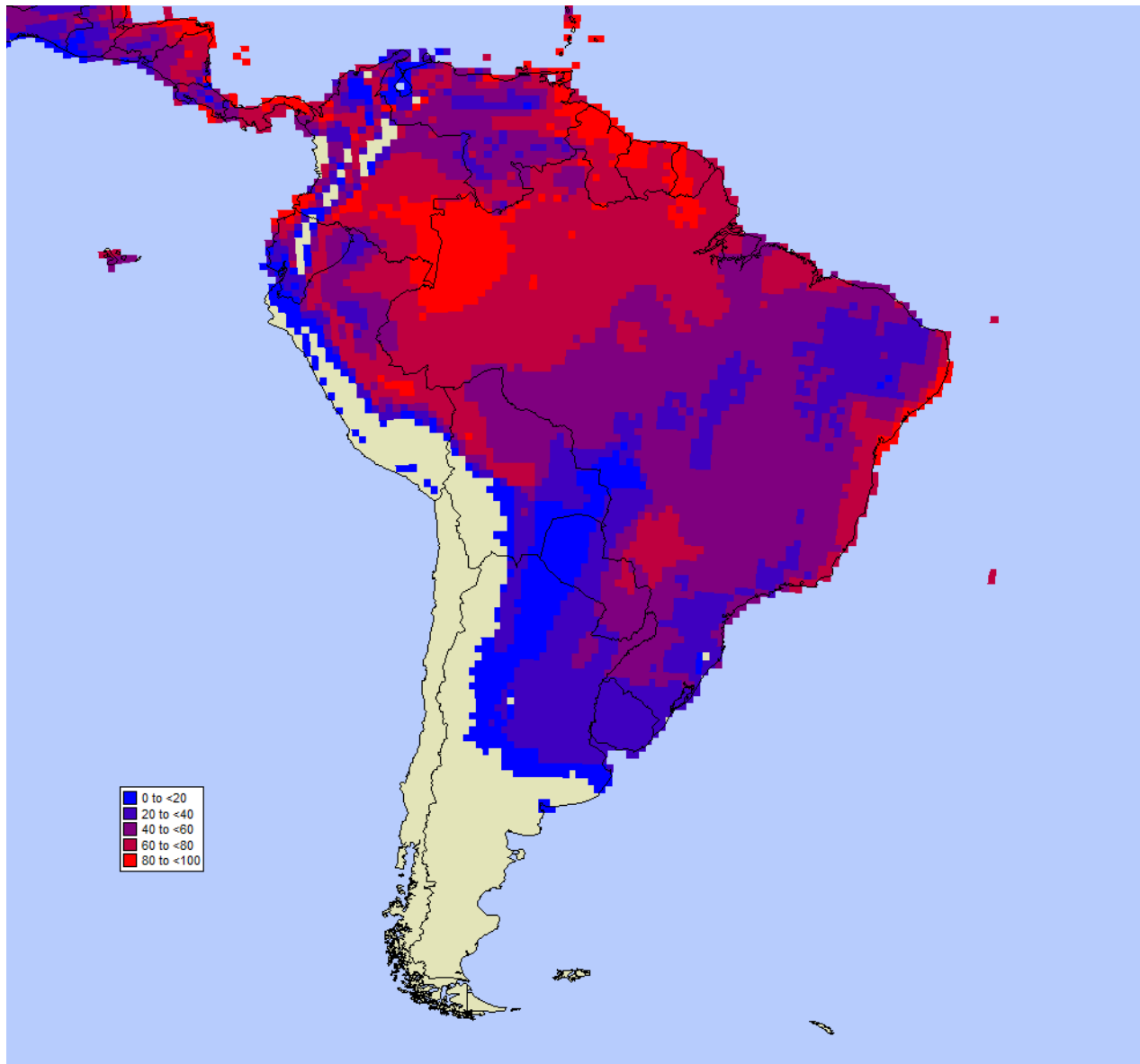


Figura 4. Mapa de favorecimento climático estimado para o potencial estabelecimento de *Tenuisvalave notata* na América do Sul. As faixas de probabilidade são intervalos de temperatura do Índice Ecoclimático do software CLIMEX (Hearne Software, Melbourne, Austrália). As áreas mais escuras são altamente favoráveis para o estabelecimento de *Tenuisvalave notata*. Cor cinza = áreas desfavoráveis (EI = 0), azul claro = áreas marginalmente adequadas ($1 \leq EI < 20$), azul escuro = área favorável ($20 \leq EI < 40$), roxo - vermelho = áreas muito favoráveis ($40 \leq EI < 100$).

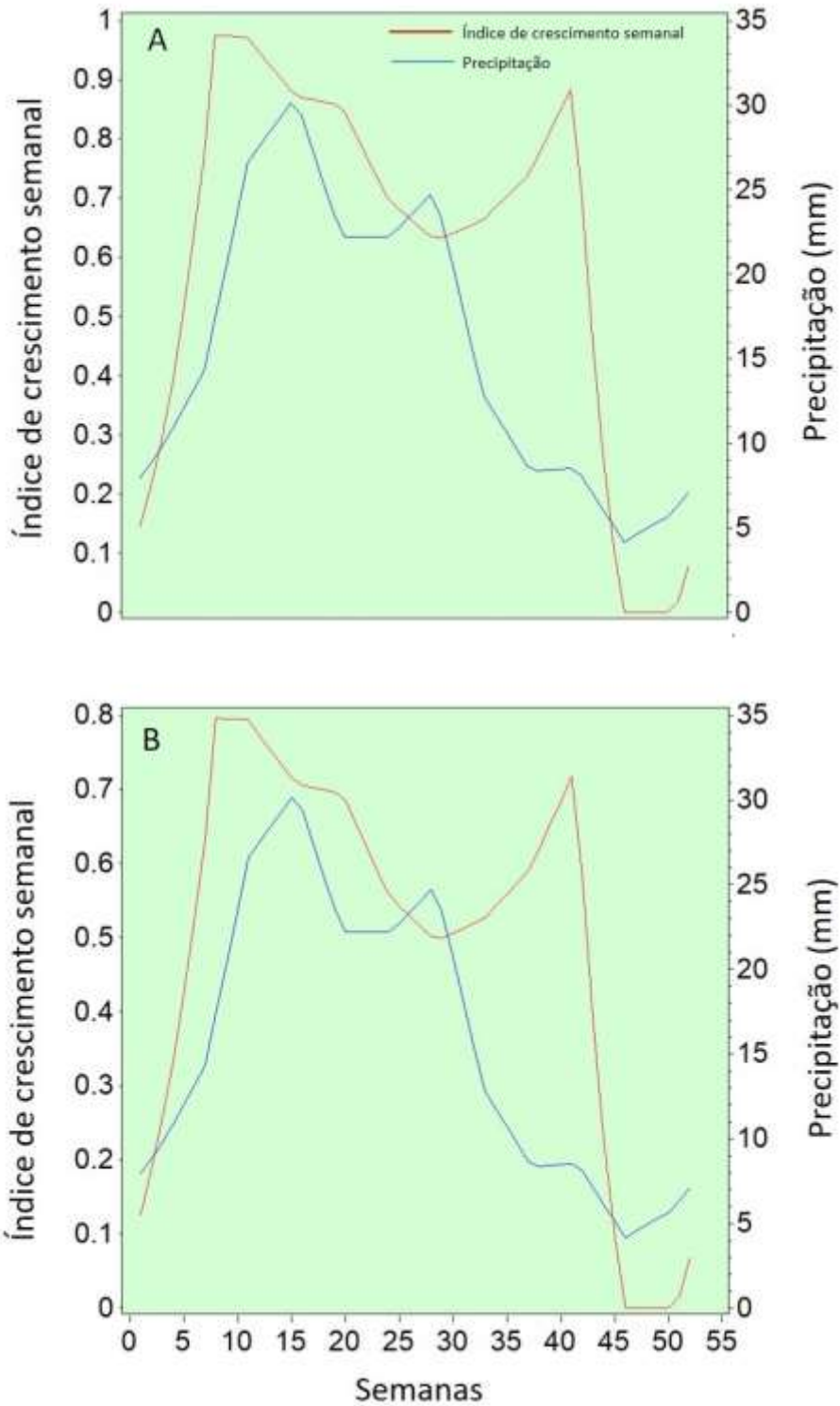


Figura 5. Gráfico CLIMEX da fenologia versus precipitação de *Cryptolaemus montrouzieri* (A) e *Tenuisvalvae notata* (B) da localização Belo Jardim, Pernambuco, Brasil (Lat.: - 8,3446/ Long.: - 36,4134).

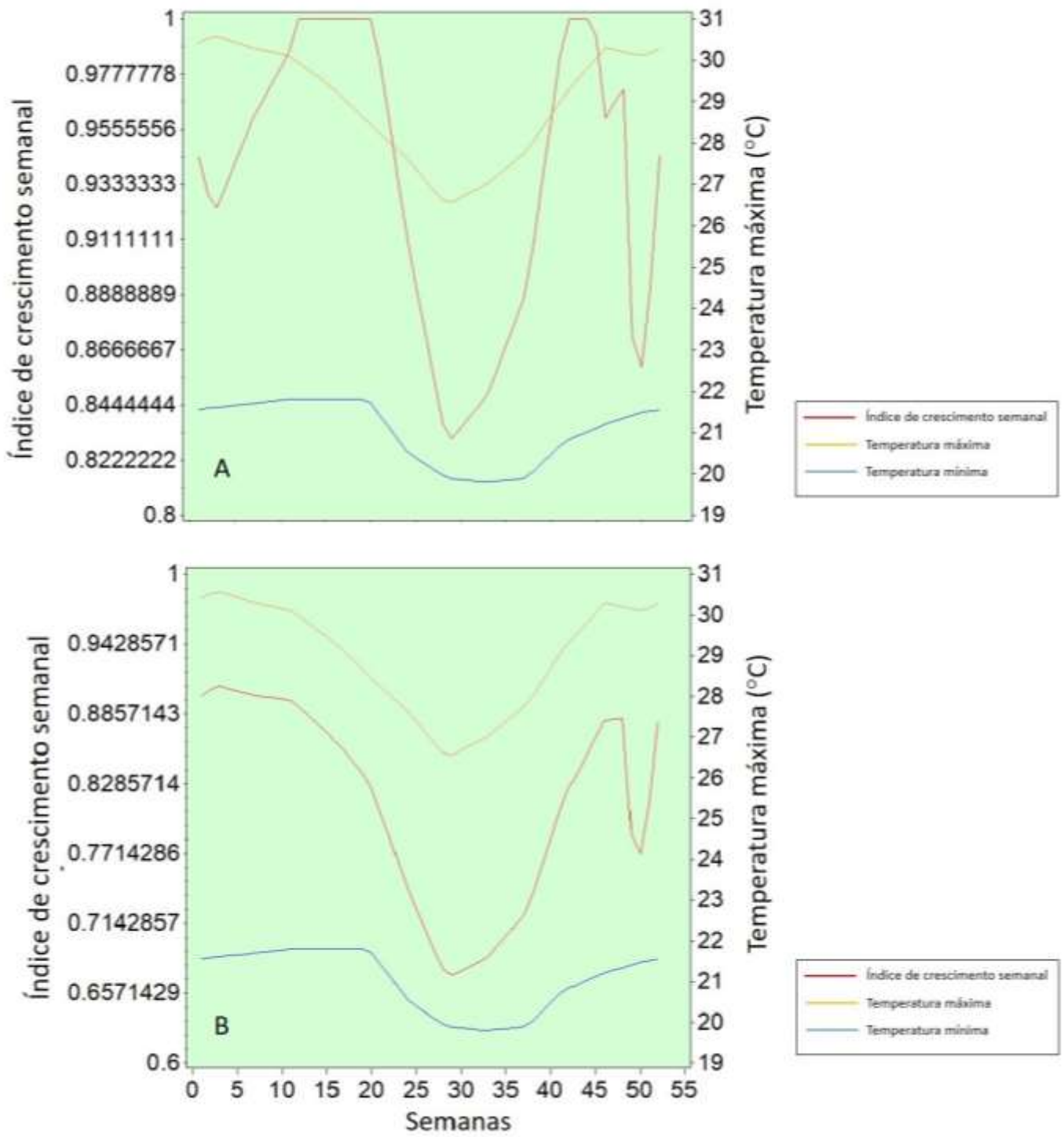


Figura 6. Gráfico CLIMEX da fenologia versus temperatura de *Cryptolaemus montrouzieri* (A) e *Tenuisvalvae notata* (B) da localização Chã Grande, Pernambuco, Brasil (Lat: - 8.2522/ Long: - 35.4549).

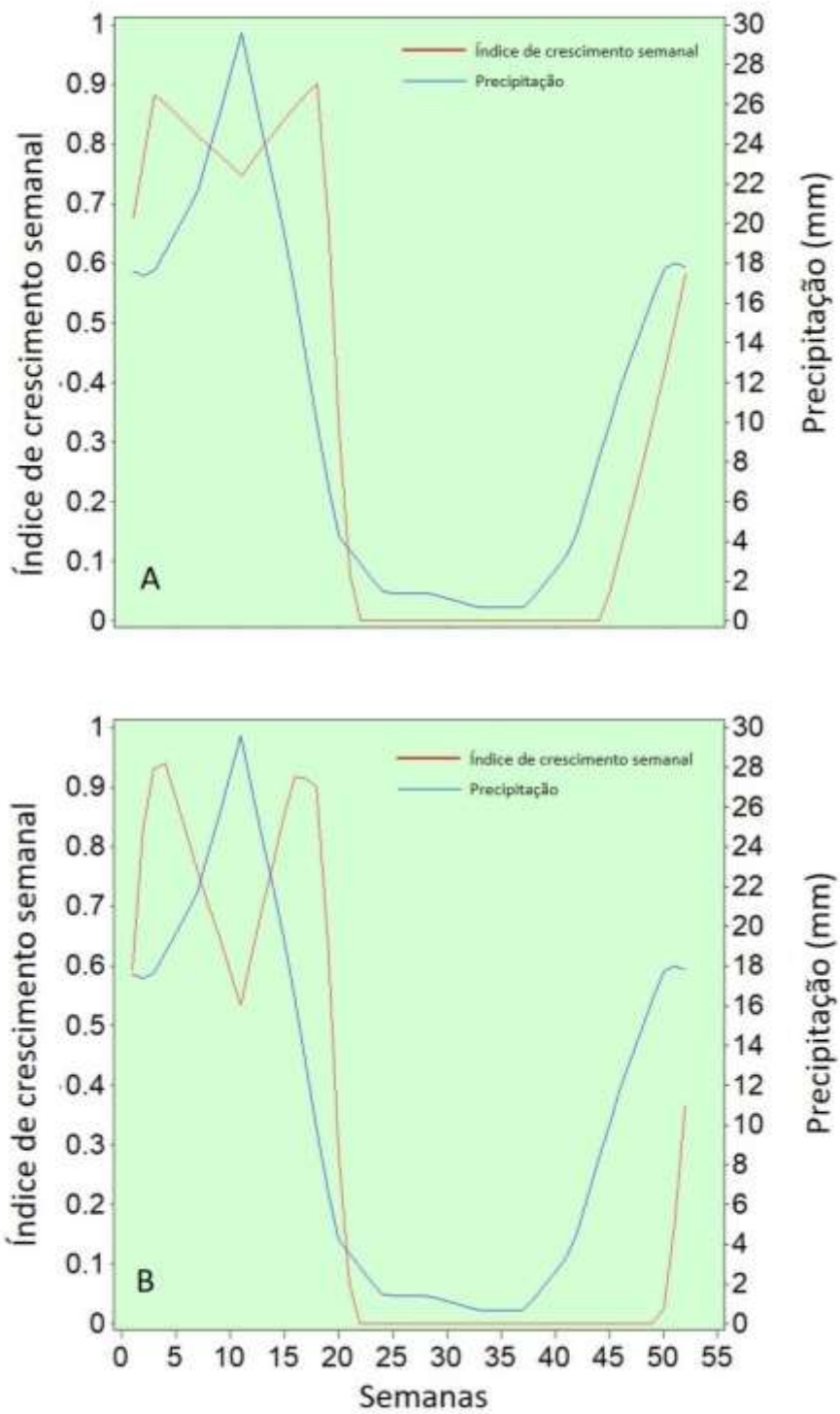


Figura 7. Gráfico CLIMEX da fenologia versus precipitação temperatura de *Cryptolaemus montrouzieri* (A) e *Tenuisvalvae notata* (B) da localização Petrolina, Pernambuco, Brasil (Lat: - 9,3948 / Long: - 40,4962).

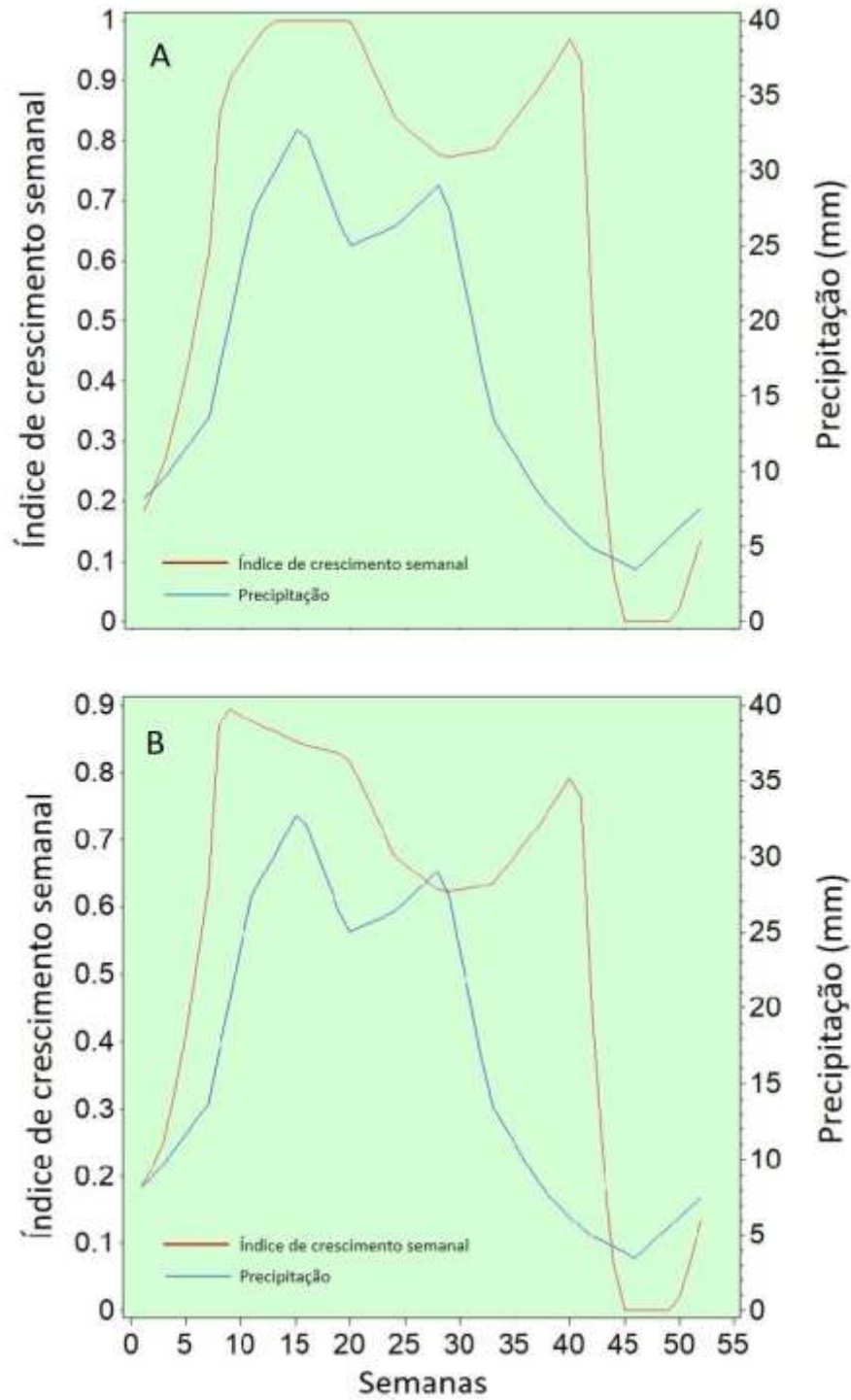


Figura 8. Gráfico CLIMEX da fenologia versus precipitação temperatura de *Cryptolaemus montrouzieri* (A) e *Tenuisvalvae notata* (B) da localização Surubim, Pernambuco, Brasil (Lat.: - 7,8711/Long.: - 35,7533).

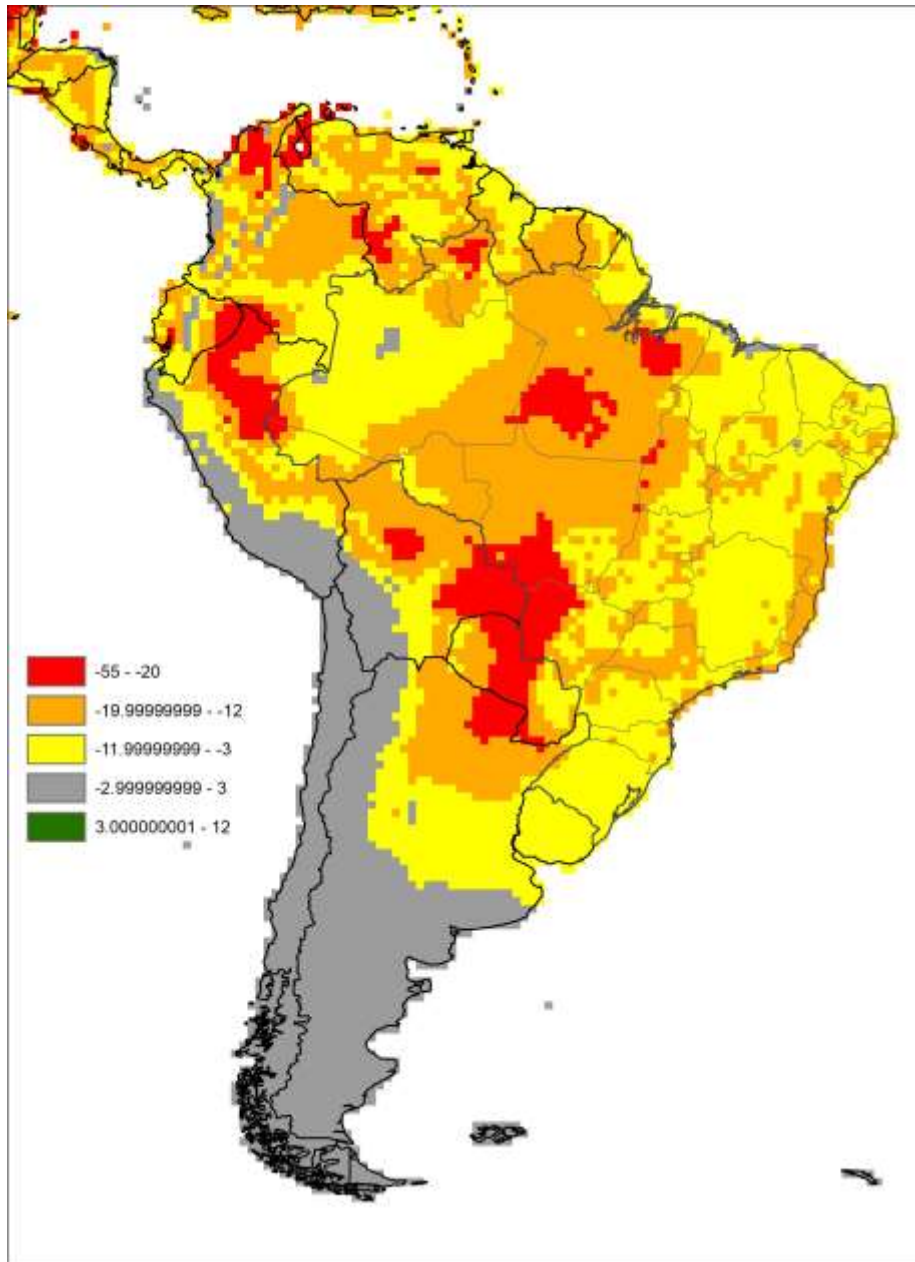


Figura 9. Mapa CLIMEX de diferença no Índice Ecoclimático (IE) para *Tenuisvalvae notata* e *Cryptolaemus montrouzieri* na América do Sul no cenário atual. Áreas com valores fortemente positivos, o clima é mais adequado para *T. notata*, sendo estes locais raros. Em áreas com valores fortemente negativos, o clima é mais favorável para *C. montrouzieri*. Áreas que são similares (diferença de valores entre -3 a +3) não são prováveis de fornecer vantagem climática a nenhuma das duas espécies. Cor vermelho/laranja/amarelo = área de clima mais adequado para *C. montrouzieri*. Verde = área de clima mais adequado para *T. notata*. Cinza = áreas sem vantagem climática para ambas espécies.

CAPÍTULO 4

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados encontrados, podemos sugerir que os parâmetros bioecológicos de coccinelídeos sofrem efeito da temperatura. No geral, o período de desenvolvimento de *T. notata* foi reduzido com o aumento da temperatura de 20 a 32 °C, sendo que as temperaturas inferiores, 16 a 18 °C, não foram propícias para o desenvolvimento desta joaninha, apesar de que a estimativa do limiar de temperatura inferior (T_b) foi de 14,5 °C e existem relatos de desenvolvimento e sobrevivência a 18 °C. Essas diferenças possivelmente estão relacionadas com as características intrínsecas das populações estudadas e que configuram a adaptabilidade da espécie após várias gerações em locais de temperaturas marginalmente desfavoráveis, sendo necessário mais estudos sobre essas adaptações.

Além disso, a temperatura de 28 °C resultou em uma diminuição do período pré-oviposição e a sobrevivência das fêmeas, e temperaturas extremas, com desenvolvimento, de 20 e 32 °C diminuíram a fecundidade e a viabilidade de ovos. Na temperatura de 32 °C pode ocorrer oviposição, eclosão de larvas e sobrevivência dos adultos, porém com valores muito baixos. Além disso, a exposição de ovos em temperatura imediatamente superior de 33 °C, ocorre eclosão de larvas, mas que não completam o desenvolvimento larval, bem como adultos expostos a esta temperatura não realiza oviposição e morrem com menos de sete dias de vida. Assim, caracterizaa que temperatura acima de 32 °C são inadequadas para estabelecimento desta joaninha. Portanto, em regime constante de temperatura a 28 °C é recomendado a criação massal e estudos utilizando *T. notata*, tendo assim uma faixa ideal de temperatura para desenvolvimento de 20 a 32 °C e para reprodução de 20 a 28 °C. Quanto ao tipo de presa, esse fator pouco afetou a duração do ciclo de

ovo a adulto, e tanto *F. dasyrillii* como *P. citri* mostraram-se presas adequadas para o desenvolvimento e a reprodução de *T. notata*, visto que ambas são cochonilhas farinhentas e constituem um nicho alimentar preferencial deste predador. Na verdade, quanto maior a temperatura, maior foi o consumo destas, independente da presa ofertada.

O clima é um dos fatores mais importantes para prever distribuições geográficas das espécies, incluindo não só a temperatura mas também outros fatores de estresse, tais como: a precipitação e a umidade relativa do ar. Com isso, diversos estudos vem utilizando modelos bioclimáticos como ferramenta para testar a adequação climática de um local para uma determinada espécie animal, e com isso auxiliar em programas de manejo de pragas. Portanto, os resultados deste estudo, os quais foram inéditos sobre a biologia e distribuição da joaninha *T. notata*, serviram de comparação com a espécie exótica *C. montrouzieri*, e através do software CLIMEX estimamos a possível ocorrência global de ambas as joaninhas, bem como em locais específicos. Assim, foi possível estimar a fenologia destas espécies ao longo do ano nestas localidades.

Concluimos que a joaninha exótica *C. montrouzieri* tem melhor adequação climática em maior área da América do Sul, em comparação a espécie nativa *T. notata*, e com isso podemos pré-avaliar o potencial de estabelecimento e competição das espécies em programa de controle biológico, visando à redução efetiva dos níveis populacionais da praga. Essa maior plasticidade ecológica de *C. montrouzieri* pode explicar o seu sucesso como agente de controle biológico introduzida em várias regiões, como América do Sul e do Norte, África e Ásia.

Devido à falta de informação, a introdução e o estabelecimento de espécies exóticas sem estudos prévios, vem causando efeitos diretos e indiretos na comunidade de artrópodes local, bem como o não estabelecimento desejado na área alvo, sendo necessário mais estudos com o intuito de avaliar a influência dos diversos fatores no na biologia e ecologia das espécies de inimigos

naturais. Por isso, estudos futuros relacionados à interação de *T. notata* e *C. montrouzieri* precisam ser realizados e servirão para melhor esclarecer o efeito da ocorrência múltipla destas joaninhas em um local semelhante e o efeito no controle de cochonilhas.